

应用鱼类生物完整性指数评价秦岭黑河流域健康状况

边 坤¹, 张建禄¹, 苟妮娜¹, 靳铁治¹, 黄庆华², 王开锋¹

(1. 陕西省秦岭珍稀濒危动物保育重点实验室, 陕西省动物研究所, 西安 710032;
2. 黑河珍稀水生野生动物国家级自然保护区管理中心, 西安 710400)

摘要: 分析不同时期秦岭黑河流域鱼类生物完整性的特点及变化情况, 为该流域水生生态系统健康评价和西安市重要水源地的保护提供参考。以鱼类为研究对象, 通过现场调查和历史资料收集, 应用鱼类生物完整性指数(F-IBI)对流域生态系统健康状况进行评价。秦岭黑河流域鱼类记录 1980 年代 34 种、1990 年代 18 种, 2018 年调查到鱼类 17 种。根据研究区域的鱼类生态特点, 筛选鱼类总种类数、鳅科鱼类占总种类数百分比、鲤科鱼类占总种类数百分比、高耐污鱼类占总种类数百分比、低耐污鱼类占总种类数百分比、浮游生物食性鱼类占总种类数百分比、肉食性鱼类占总种类数百分比、杂食性鱼类占总种类数百分比等 8 个指标用于建立评价体系。1980 年代秦岭黑河流域 F-IBI 得分为 57, 生物完整性“极好”; 1990 年代 F-IBI 得分为 18, 生物完整性“极差”; 2018 年 F-IBI 得分为 30, 生物完整性“差”。秦岭黑河流域鱼类资源减少, 种类组成趋向单一化, 鱼类生物完整性呈下降趋势, 流域生态系统健康状况下降, 相关部门应对厚畛子镇、陈河镇等关键源区加强管理。

关键词: 鱼类生物完整性指数; 指标体系; 秦岭; 黑河; 健康评价

中图分类号: X171 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-3075(2021)03-0023-07

河流在人类历史进程中一直具有举足轻重的地位, 作为城市生活用水的主要来源, 其生态系统的健康程度是人类赖以生存的基础。但是随着经济发展, 多数河流都受到了日益严重的污染和破坏(Johansson et al, 1996)。

现代社会人们日益重视生态环境保护, 关于河流生态系统的健康评估研究逐渐成为热点。自 20 世纪 80 年代开始, 国外学者相继从河流健康的角度进行了研究(Meyer, 1997; Norris & Thoms, 1999)。Karr(1981)提出了生物完整性指数(index of biotic integrity, IBI)概念, 认为良好的水域生态环境必然具有完善的生态群落结构, 最初 IBI 以鱼类为研究对象构建了鱼类生物完整性指数(fish-index of biotic integrity, F-IBI)应用于河流生态系统的评价。IBI 弥补了传统生态系统评价中单一理化监测方式的不足, 从生物多样性和完整性方面丰富了研究方法, 经过多年的发展已经广泛应用于全球

不同地区不同类型的水生态环境研究和评价中(Seegert, 2000; 张芮等, 2017)。

秦岭黑河地处陕西省秦岭北麓, 发源于秦岭山脉太白山, 位于北纬 33°42′~34°13′, 东经 107°43′~108°24′, 黑河干流长约 125.8 km, 流域面积 2 258 km², 多年平均径流量 8.17 亿 m³, 主要有板房子河、虎豹河、大蟒河等支流, 河流整体位于西安市周至县境内。该区域主要属暖温带半湿润半干旱大陆性季风气候区, 年平均温度 13.2℃, 区域内降水受季风影响, 年内分配不均, 不同季节径流量变化较大。黑河下游于 2002 年竣工建成了黑河金盆水库, 该水利工程是西安市城市用水的主要来源, 黑河流域水生生态系统状况直接关系到西安市的居民身体健康及社会经济的可持续发展。本研究以鱼类为研究对象, 采用 IBI 评价水域生态系统健康, 初步构建秦岭黑河流域基于鱼类生物完整性(F-IBI)的评价标准和体系, 通过资料收集和野外调查, 进一步分析不同时期秦岭黑河流域鱼类生物完整性的特点及变化情况, 从而为秦岭黑河流域水生生态系统健康评价和西安市重要水源地的保护提供参考。

1 材料与方法

1.1 样点及采样方法

以陕西黑河为调查区域, 分别在 2018 年 1 月(冬季)、5 月(春季)、7 月(夏季)和 11 月(秋季)进行

收稿日期: 2019-12-28 修回日期: 2020-04-20
基金项目: 陕西省重点研发计划(2017SF-395), 陕西省重点研发计划(2018NY-108), 陕西省自然科学基金基础研究计划(2018JM3037)。
作者简介: 边坤, 1985 生, 男, 硕士, 助理研究员, 主要从事动物生态学研究。E-mail: biankun@ms.xab.ac.cn
通信作者: 王开锋, 1966 生, 男, 研究员, 主要从事动物多样性研究。E-mail: wangkf@ms.xab.ac.cn

调查。

在黑河水库中布设 3 个样点(坝前、库心和库尾),采用粘网和地笼网进行鱼类调查。在黑河上游流域共布设 16 个样点(海拔每升高 100 m 设置 1 个样点)(图 1),选择 100 m 河段使用电捕法进行鱼类调查,沿河段一侧边缘(约为河面宽度一半)将鱼尽量捕获,同时在深水区使用地笼网进行采集,使用电捕法时调整电捕器功率,仅使鱼电至昏迷,依据文献(陕西省动物研究所等,1987;陕西省水产研究所和陕西师范大学生物系,1992;朱松泉,1995)进行分类鉴定,待渔获物数据统计完成后放回河流中。

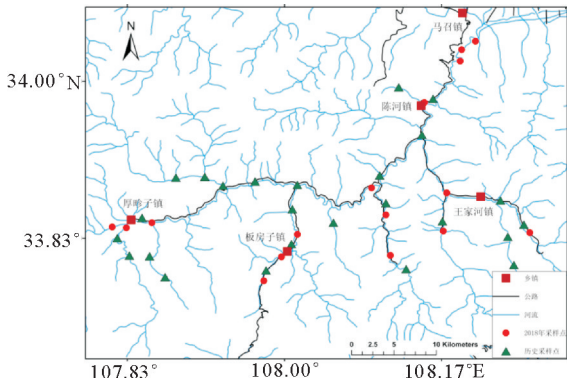


图 1 秦岭黑河流域鱼类调查样点分布

Fig.1 Location of the sampling stations for fish resource surveys in the Heihe River, Qinling

1.2 历史数据来源

秦岭黑河流域 20 世纪 80 年代鱼类数据来自参考文献(方树森等,1984;陕西省动物研究所等,1987;陕西省水产研究所和陕西师范大学生物系,1992),调查样点共计 5 个;90 年代鱼类数据来自本研究团队于 1996 - 1997 年对秦岭黑河流域的鱼类调查结果,研究团队共布设样点 20 个,采用手网、粘网、电捕法等方式在干流河段进行调查(图 1);根据历史文献和 FishBase 数据库等确定鱼类食性、耐受性等生态习性(陕西省动物研究所等,1987;陕西省水产研究所和陕西师范大学生物系,1992;中国科学院中国动物志编辑委员会,1998;2000)。

1.3 鱼类生物完整性指数设置

参考相关的 IBI 研究文献(Karr,1981;Toham & Teugels,1999;朱迪和常剑波,2004;刘明典等,2010;朱瑜等,2012),兼顾全面性和适用性原则,同时结合秦岭黑河流域生态特点,首先进行候选指标的选择,随后依照 3 个指标筛选标准对候选指标进行再筛选,最终确定本研究使用的指标。指标筛选标准内容包括:①种类指标,若采样值和对比值差距<5,则取消;百分比指标,若采样值与对比值差距

<5,则取消。②若存在彼此高度相关的指标,只保留包含最大信息量的指标。③取消因相关资料收集不全,没有调查结果的指标。

本研究根据鱼类水流偏好作为鱼类耐受性分类的标准(刘恺等,2010;朱瑜等,2012),将适应缓流或静水的鲃亚科、鲤亚科、鲴亚科、鲮科、鲇科、泥鳅(*Misgurnus anguillicaudatus*)、黄鳝(*Monopterus albus*)等视为高耐污鱼类;将适应急流性的鲃亚科、鲴亚科以及渭河裸重唇鱼(*Gymnodiptychus pachycheilus weiheensis*)等视为低耐污鱼类。此外,研究区域中被列入《国家重点保护野生动物名录》《中国物种红色名录》和《中国濒危动物红皮书》的鱼类也视为低耐污鱼类。

1.4 参照点的选定与指标赋值

在国内外相关的 IBI 研究中(Barbour et al, 1996;Morley & Karr,2002;刘恺等,2010),研究人员通常将不受人类活动干扰或受人类干扰较小的河流作为参照点,或者将该河流的历史数据作为参照点。本研究中河流大部分沿岸都有居民分布,人类活动强度较大,因此本研究以 20 世纪 80 年代鱼类历史数据作为参照点,从而确定期望值。随后参照 Karr 等(1986)采用的赋值方法对具体指标进行赋值,将指标数值范围划分为 3 个区(即高等级区域、中等级区域和低等级区域),分别赋值 5、3、1 分,最后将各指标的分值合计,即为 F-IBI 值。

生物完整性等级划分可根据研究中的实际情况进行适当修改。本文在 Karr 等(1986)研究基础上,结合秦岭黑河流域的生态系统类型和鱼类种群组成特点,将黑河 F-IBI 分为 6 个等级:极好(58~60 分)、好(48~52 分)、一般(40~44 分)、差(28~34 分)、极差(12~22 分),没有鱼(0 分),见表 1。采用 Moyle & Randall(1998)提出的 IBI 统计方法来消除由指标数量不同所带来的 IBI 总分差异。

$$IBI\ 总分 = \frac{总指标得分}{指标个数} \times 12$$

①

通过对比 20 世纪 80、90 年代以及 2018 年等不同时期的秦岭黑河鱼类数据,对其 F-IBI 的变化特点进行分析。

2 结果与分析

2.1 秦岭黑河流域鱼类组成及类型特点

秦岭黑河流域 1980 年代共记录鱼类 34 种,其中鲢形目 1 科 1 种,鲤形目 2 科 29 种,鲇形目 2 科 2 种,合鳃鱼目 1 科 1 种,鲈形目 1 科 1 种。按耐受性

表 1 F-IBI 等级划分及特征

Tab.1 F-IBI score classifications and attributes based on the sum of eight metrics

F-IBI 值	特征描述	完整性等级
58~60	依照流域生境特点,鱼类种类组成丰富,所有期望出现的种类,包括保护濒危种类都存在,低耐污鱼类和杂食性鱼类比例较高。	极好
48~52	鱼类种类组成低于原先预期,种类数目减少,鳅科鱼类比例上升,鲤科鱼类比例下降。	好
40~44	鱼类种类进一步降低,鳅科鱼类比例继续上升,高耐污鱼类比例上升,低耐污鱼类比例下降,浮游生物食性鱼类和杂食性鱼类比例下降。	一般
28~34	鱼类种类较预期值有明显减少,鳅科鱼类比例持续上升,鲤科鱼类比例下降明显,高耐污鱼类比例较高,部分低耐污鱼类消失。	差
12~22	鱼类种类大幅度减少,鳅科鱼类比例大幅度上升,浮游生物食性鱼类比例较低,肉食性鱼类比例较高。	极差
0	重复采样,没有采到鱼类。	没有鱼

划分,其中高耐污鱼类 7 种,占鱼类种数的 20.59%,低耐污鱼类 12 种,占鱼类种数的 35.29%。按营养结构划分,其中浮游生物食性鱼类 6 种,肉食性鱼类

7 种,杂食性鱼类 21 种,分别占鱼类种数的 17.65%、20.59%、61.76%。

1990 年代共记录鱼类 18 种,其中鲢形目 1 科 1 种,鲤形目 2 科 14 种,鲇形目 1 科 1 种,合鳃鱼目 1 科 1 种,鲈形目 1 科 1 种。按耐受性划分,高耐污鱼类 3 种,占鱼类种数的 16.67%,低耐污鱼类 5 种,占鱼类种数的 27.78%。按营养结构划分,浮游生物食性鱼类 2 种,肉食性鱼类 6 种,杂食性鱼类 10 种,分别占鱼类种数的 11.11%、33.33%、55.56%。

2018 年共调查到鱼类 17 种,鲢形目 1 科 1 种,鲤形目 2 科 14 种,鲇形目 2 科 2 种。按耐受性分,高耐污鱼类 6 种,占鱼类种数的 35.29%;低耐污鱼类 5 种,占 29.41%。按营养结构划分,浮游生物食性鱼类 2 种,肉食性鱼类 4 种,杂食性鱼类 11 种,分别占鱼类种数的 11.76%、23.53%、64.71%(表 2)。

2.2 秦岭黑河流域 F-IBI 指标选定及赋值

参考相关文献(Karr, 1981; 朱迪和常剑波, 2004; 朱瑜等, 2012),同时结合秦岭黑河流域生态特点,选择出 18 个候选指标(分属 4 类),见表 3。

表 2 秦岭黑河鱼类名录和生态习性

Tab.2 Taxa composition and ecological guilds of fish in the Heihe River, Qinling

种 名	生态类型	调查时间		
		1980 年代	1990 年代	2018 年
鲑形目 Salmoniformes				
鲑科 Salmonidae				
细鳞鲑 <i>Brachmystax lenok</i>	D, C, De	+	+	+
鲤形目 Cypriniformes				
鳅科 Cobitidae				
红尾副鳅 <i>Paracobitis variegatus</i>	V, P, De	+	+	+
岷县高原鳅 <i>Triplophysa minxianensis</i>	D, C, De	+	+	+
中华花鳅 <i>Cobitis sinensis</i>	S-P, O, De	+	+	+
泥鳅 <i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	V, O, De	+	+	
鲤科 Cyprinidae				
马口鱼 <i>Opsariichthys bidens</i>	V, C, De	+	+	
宽鳍鱮 <i>Zacco platypus</i>	V, O, U	+	+	
中华细鲫 <i>Aphyocypris chinensis</i>	V, O, L	+		
拉氏鲮 <i>Phoxinus lagowskii</i>	V, O, L	+	+	+
瓦氏雅罗鱼 <i>Leuciscus waleckii</i>	V, O, U	+	+	
中华鲮 <i>Rhodeus sinensis</i>	V, O, De	+	+	+
高体鲮 <i>Rhodeus ocellatus</i>	V, O, De	+	+	+
斑条刺鲮 <i>Acanthorhodeus taenianalis</i>	V, O, De	+		
大鳍刺鲮 <i>Acanthorhodeus macropterus</i>	V, O, De	+		
兴凯刺鲮 <i>Acanthorhodeus chankaensis</i>	V, O, De	+		
彩石鲃 <i>Pseudoperilampus lighti</i>	V, P, De	+		
鲃 <i>Hemiculter leucisculus</i>	V, O, U	+		+
唇鱼骨 <i>Hemibarbus labeo</i>	V, O, L	+	+	
银飘鱼 <i>Pseudolaubuca sinensis</i>	V, O, U			+
麦穗鱼 <i>Pseudorasbora parva</i>	V, O, L	+	+	+
黑鳍鲈 <i>Sarcocheilichthys nigripinnis</i>	V, O, De	+		
嘉陵颌须鲈 <i>Gnathopogon herzensteini</i>	D, P, De	+		

续表 2

种 名	生态类型	调查时间		
		1980 年代	1990 年代	2018 年
济南颌须鮡 <i>Gnathopogon tsinanensis</i>	D, P, De	+		
短须颌须鮡 <i>Gnathopogon imberbis</i>	D, P, De	+	+	+
西湖颌须鮡 <i>Gnathopogon sihuensis</i>	D, P, De	+		
棒花鱼 <i>Abbottina rivularis</i>	V, O, De	+		+
清徐胡鮡 <i>Huigobio chinssuensis</i>	D, O, De	+		
多鳞铲颌鱼 <i>Varicorhinus macrolepis</i>	V, O, L	+	+	+
渭河裸重唇鱼 <i>Gymnodiptychus weiheensis</i>	V, O, De	+		
鲫 <i>Carassius auratus</i>	V, O, De	+		+
鲤 <i>Cyprinus carpio</i>	V, O, L	+		+
鲇形目 Stluriformfs				
鲇科 Siluridae				
鲇 <i>Silurus asotus</i>	V, C, De	+	+	+
鲿科 Bagridae				
黄颡鱼 <i>Pelteobagrus fulvidraco</i>	V, C, De	+		+
合鳃鱼目 Synbranchiforms				
合鳃鱼科 Synbranchidae				
黄鳝 <i>Monopterus albus</i>	S-P, C, De	+	+	
鲈形目 Perciformes				
鰕虎鱼科 Gobiidae				
栉鰕虎鱼 <i>Ctenogobius giurinus</i>	V, C, De	+	+	

注:D,沉性卵; V,黏性卵; P,浮性卵; S-P,漂流性卵; C,肉食性; O,杂食性; P,浮游生物食性; U,中上层; L,中下层; De,底栖。
Note:D, demersal egg; V, viscid (adhesive) egg; P, pelagic egg; S-P, semi-pelagic egg; C, carnivore; O, omnivore; P, planktivore; U, upper water level; L, lower water level; De, demersal.

表 3 秦岭黑河鱼类完整性候选指标及调查结果

Tab.3 Candidate indices of fish community integrity and their corresponding values in different periods of Heihe River, Qinling

属 性	候选指标	代码	1980 年代	1990 年代	2018 年
种类组成和丰度	1.鱼类总种类数/种	M1	34	18	17
	2.鲢科鱼类占总种类数百分比/%	M2	2.94	5.56	5.88
	3.鳊科鱼类占总种类数百分比/%	M3	11.76	22.22	17.65
	4.鲤科鱼类占总种类数百分比/%	M4	73.53	55.56	64.71
	5.鲇科鱼类占总种类数百分比/%	M5	2.94	5.56	5.88
	6.条鳅亚科鱼类种数/种	M6	2	2	2
	7.花鳅亚科鱼类种数/种	M7	2	2	1
	8.雅罗鱼亚科鱼类种数/种	M8	2	2	1
	9.鲴亚科鱼类种数/种	M9	6	2	2
	10.鮡亚科鱼类种数/种	M10	9	3	3
	11.鲃亚科鱼类种数/种	M11	1	1	1
耐受性	12.高耐污鱼类占总种类数百分比/%	M12	38.24	27.78	47.06
	13.低耐污鱼类占总种类数百分比/%	M13	35.29	27.78	29.41
营养结构	14.浮游生物食性鱼类占总种类数百分比/%	M14	17.65	11.11	11.76
	15.肉食性鱼类占总种类数百分比/%	M15	20.59	33.33	23.53
	16.杂食性鱼类占总种类数百分比/%	M16	61.76	55.56	64.71
渔获物与	17.单位鱼产量/kg·hm ⁻²	M17	/	/	1.31
健康状况	18.畸形、患病鱼类个体数百分比/%	M18	/	/	0

随后按照筛选标准对候选指标进行再筛选。M2、M5、M6、M7、M8 和 M11 这 6 个候选指标,采样值和对比值的差距小于 5,故删除;M12 指标中包含了 M9 指标,M13 指标中包含了 M10 指标,只保留信息量大的指标,故删除 M9 和 M10 这 2 个候选指标;M17 和 M18 因为历史数据缺乏,这 2 个候选

指标也应删除。
最终确定秦岭黑河流域 F-IBI 体系 8 个指标:鱼类总种类数、鳊科鱼类占总种类数百分比、鲤科鱼类占总种类数百分比、高耐污鱼类占总种类数百分比、低耐污鱼类占总种类数百分比、浮游生物食性鱼类占总种类数百分比、肉食性鱼类占总种类数百分

比、杂食性鱼类占总种类数百分比。这8项指标综合考虑了研究区域中鱼类主要种群组成、环境耐受性及营养食性等特点。根据Karr等(1986)提出的赋值方法,确定秦岭黑河流域F-IBI体系8个指标的赋值标准见表4。

2.3 秦岭黑河流域健康状况评价

不同时期秦岭黑河流域IBI指标值、IBI得分和

评价等级见表5。1980年代秦岭黑河流域F-IBI总得分为57分,等级为“极好”;1990年代秦岭黑河流域F-IBI总得分为18分,等级为“极差”;2018年的秦岭黑河流域F-IBI总得分为30分,等级为“差”。从评分结果来看,20世纪80年代秦岭黑河鱼类生态状况优良,90年代鱼类生态状况极差,但在本世纪初鱼类生态状况有了一定好转。

表4 秦岭黑河F-IBI指标的赋分标准

Tab.4 Weighting of F-IBI metrics in Heihe River, Qinling

属性	代码	指 标	分 值		
			1 分	3 分	5 分
种类组成和丰度	M1	1.鱼类总种类数/种	<23	23~28	>28
	M3	2.鳅科鱼类占总种类数百分比/%	>18.74	15.25~18.74	<15.25
	M4	3.鲤科鱼类占总种类数百分比/%	<61.55	61.55~67.54	>67.54
耐受性	M12	4.高耐污鱼类占总种类数百分比/%	>40.63	34.21~40.63	<34.21
	M13	5.低耐污鱼类占总种类数百分比/%	<30.28	30.28~32.79	>32.79
营养结构	M14	6.浮游生物食性鱼类占总种类数百分比/%	<13.29	13.29~15.47	>15.47
	M15	7.肉食性鱼类占总种类数百分比/%	>29.08	24.84~29.08	<24.84
	M16	8.杂食性鱼类占总种类数百分比/%	<58.61	58.61~61.66	>61.66

表5 秦岭黑河F-IBI各年份得分值

Tab.5 F-IBI scores for Heihe River, Qinling in different periods

时间	指 标 得 分									IBI 值	IBI 等级
	M1	M3	M4	M12	M13	M14	M15	M16	累计		
1980 年代	5	5	5	3	5	5	5	5	38	57	极好
1990 年代	1	1	1	5	1	1	1	1	12	18	极差
2018 年	1	3	3	1	1	1	5	5	20	30	差

3 讨论

黑河流域的鱼类生物完整性从20世纪80年代以来整体呈下降态势,由80年代的“极好”状态下降为目前的“差”状态。本次调查2018年秦岭黑河流域鱼类总种类数17种,只有20世纪80年代资料记载的一半,当地鱼类资源已大幅度下降。

伴随着现代社会的发展,许多由人类活动引起的问题,例如工程建设、水质污染、过度捕捞等,都会对河流生态系统产生重大影响,从而导致鱼类生存环境的恶化,改变流域中鱼类原始的种群结构(汤娇雯等,2009)。水库大坝是对河流产生重要影响的工程之一,改变了河流水生生态系统,对鱼类生物完整性造成显著影响(Park et al,2003)。黑河金盆水库2002年竣工后,坝下河道长年处于枯水状态,河道栖息地特征发生明显变化,原先适应急流环境的鱼类被迫向上游的浅水河段迁移,但是又很难适应上游低温环境,同时流动水体转变为静滞水体,使得具有长距离洄游习性和产漂流性卵的鱼类生存空间急剧缩小,种群数量明显减少,这是造成黑河流域鱼类生物完整性下降的原因之一。黑河上游乡镇多年来

积极发展旅游业,人类活动明显增加,厚畛子镇、陈河镇等地成为流域重要的水环境污染源区(胥彦玲等,2005;李景宜,2011)。居民污水排放导致水体环境发生变化,例如氮磷污染超标、水体富营养化、鱼类饵料结构变化等,从而影响黑河鱼类原有的生存环境,引起鱼类种群结构和生物完整性发生变化。政府部门在发展经济的同时,也要重视这类现象,合理引导,加强管理。此外,在黑河当地一直存在私自捕捞的现象,主要以电捕为主,这对当地鱼类生物完整性也造成了毁灭性伤害,多种小型鱼类(例如鲢鳊类、颌须鲈类)在20世纪90年代后的调查中就很难见到,而且其余体型鱼类也有向小型化渐变的趋势(张建禄等,2016)。针对这种情况,政府部门自2004年起颁布了相应法律法规,每年明确禁渔区和禁渔期,同时又陆续成立了陕西周至黑河湿地省级自然保护区和黑河珍稀水生野生动物国家级自然保护区,对秦岭黑河流域进行系统管理和保护。这些措施有效遏制了破坏当地鱼类资源的行为,为黑河鱼类生物完整性的恢复提供了保障,也是本研究中黑河流域2018年F-IBI评分相较于20世纪90年代F-IBI评分更高的重要原因。目前秦岭黑河还未

发现大规模外来物种入侵的现象,但在走访调查中,发现草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)零星出现,值得警惕。

IBI评价体系弥补了传统理化监测方式的不足,虽然已广泛应用,但目前研究方法尚无统一标准,往往需要根据实际情况对评价指标进行主观选取,这可能导致不同研究人员对同一研究目标的评价结果产生偏差。同时在研究评价水生态系统时,除了水体理化指标、鱼类之外,浮游生物、底栖动物等生物群落往往具有生长周期短、对环境变化反应敏感等特点,亦可应用于水生态系统健康的研究(Kane et al, 2009)。应用生物完整性进行水生态系统研究在我国发展较晚,未来应积极开展这方面的研究工作,同时可以将鱼类、浮游生物、底栖动物等水生态系统中多种生物群落集合起来进行综合分析,制定更适宜更全面的筛选方法和评分标准,有助于IBI评价体系进一步科学合理地发展。

参考文献

- 方树森,许涛清,宋世良,等,1984.陕西省鱼类区系研究[J].兰州大学学报(自然科学版),20(1):97-115.
- 李景宜,2011.陕西渭河流域主要环境问题及其治理[J].干旱区研究,28(6):967-973.
- 刘明典,陈大庆,段辛斌,等,2010.应用鱼类生物完整性指数评价长江中上游健康状况[J].长江科学院院报,27(2):1-6,10.
- 刘恺,周伟,李凤莲,等,2010.广西河池地区河流基于鱼类的生物完整性指数筛选及其环境质量评估[J].动物学研究,31(5):531-538.
- 陕西省动物研究所,中国科学院水生生物研究所,兰州大学生物系,1987.秦岭鱼类志[M].北京:科学出版社.
- 陕西省水产研究所,陕西师范大学生物系,1992.陕西鱼类志[M].西安:陕西科学技术出版社.
- 汤娇雯,张富,陈兆波,2009.我国鱼类生物多样性保护策略[J].淡水渔业,39(4):75-79.
- 胥彦玲,李怀恩,贾海娟,等,2005.陕西省黑河流域水土流失型非点源污染估算[J].水土保持通报,25(5):82-84.
- 张建禄,边坤,靳铁治,等,2016.秦岭黑河流域鱼类资源现状调查[J].淡水渔业,46(4):103-108.
- 张芮,徐宾铎,薛莹,等,2017.黄河口及其邻近水域鱼类生物完整性评价[J].中国水产科学,24(5):946-952.
- 中国科学院中国动物志编辑委员会,1998.中国动物志·硬骨鱼纲·鲤形目:中卷[M].北京:科学出版社.
- 中国科学院中国动物志编辑委员会,2000.中国动物志·硬骨鱼纲·鲤形目:下卷[M].北京:科学出版社.
- 朱松泉,1995.中国淡水鱼类检索[M].南京:江苏科学技术出

版社.

- 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.
- 朱瑜,蒋德所,周解,等,2012.应用鱼类完整性指数评价漓江水生态环境健康状况[J].广西师范大学学报:自然科学版,30(7):130-135.
- Barbour M T, Gerritsen J, Griffith G E, 1996. A framework for biological criteria for Florida streams using Benthic Macroinvertebrates[J]. Journal of the North American Benthological Society, 15(2):185-211.
- Johansson M E, Nilsson C, Nilsson E, 1996. Do rivers function as corridors of dispersal? [J]. Journal of Vegetation Science, 7(4):593-598.
- Kane D D, Gordon S I, Munawar M, et al, 2009. The Planktonic Index of Biotic Integrity (P-IBI): An approach for assessing lake ecosystem health[J]. Ecological Indicators, 9(6):1234-1247.
- Karr J R, 1981. Assessment of biotic integrity using fish communities[J]. Fisheries, 6(6):21-27.
- Karr J R, Fausch K D, Angermeier P L, et al, 1986. Assessing biological integrity in running water: a method and its rationale[J]. Illinois Natural History Survey Special Publication, 5:1-28.
- Meyer J L, 1997. Stream Health: incorporating the human dimension to advance stream ecology[J]. Journal of the North American Benthological Society, 16(2):439-447.
- Moyle P B, Randall R J, 1998. Evaluating the biotic integrity of watersheds in the Sierra Nevada, California[J]. Conservation Biology, 12(6):1318-1326.
- Morley S A, Karr J R, 2002. Assessing and restoring the health of urban streams in the Puget Sound basin[J]. Conservation Biology, 16(6):1498-1509.
- Norris R H, Thoms M C, 1999. What is river health? [J]. Freshwater Biology, 41(2):197-209.
- Park Y S, Chang J, Lek S, et al, 2003. Conservation Strategies for Endemic Fish Species Threatened By the Three Gorges Dam[J]. Conservation Biology, 17(6):1748-1758.
- Seegert G, 2000. The development, use, and misuse of biocriteria with an emphasis on the index of biotic integrity [J]. Environmental Science & Policy, (3):51-58.
- Toham A K, Teugels G G, 1999. First data on an Index for Biotic Integrity (IBI) based on fish assemblages for the assessment of the impact of deforestation in a tropical West African river system[J]. Hydrobiologia, 397:29-28.

(责任编辑 张俊友 郑金秀)

Ecological Health Assessment of Heihe River, Qinling, Using the
Fish-Based Index of Biotic Integrity

BIAN Kun¹, ZHANG Jian-lu¹, GOU Ni-na¹, JIN Tie-zhi¹, HUANG Qing-hua², WANG Kai-feng¹

(1.Shaanxi Key Laboratory for Animal Conservation, Shaanxi Institute
of Zoology, Xi'an 710032,P.R.China;
2.Rare Aquatic Wildlife National Nature Reserve Administration
of Heihe River, Xi'an 710400,P.R.China)

Abstract: The fish-based index of biotic integrity (F-IBI) is a quantitative measure of the effect of human activity on biological activity, and is a reliable method for evaluating the ecological and environmental conditions in lakes, wetlands, reservoirs, estuaries and rivers. In this study, an F-IBI assessment system was developed for the Heihe River at Qinling, Shaanxi Province. The index was then used to analyze and evaluate the environmental health of Heihe River during different periods. The objectives of the study were to provide a reference for evaluating aquatic ecosystem health in the Heihe River basin and conserving the water source of Xi'an City. The F-IBI assessment system for Heihe River was based on field investigations of fishery resources in January, May and July 2018 and historical data on the fish assemblage in the 1980s and 1990s. Eighteen candidate indices, representing different attributes of the fish community were selected, based on the fish species inhabiting Heihe River. After screening and analysis, eight indices were identified as suitable for the F-IBI evaluation system, and they fell into three groups: community composition, environmental tolerance, and feeding habits. The F-IBI scores for the 1980s, 1990s and 2018 were, respectively, 57, 18 and 30, indicating that ecological conditions were excellent in the 1980s, very poor in 1990s and poor in 2018. Compared with the historical data of the 1980s, the 2018 field investigation showed a marked decline in the F-IBI due to decreases in both fish stocks and species diversity. The ecosystem health of the Heihe River has been declining since 1980s and the relevant authorities should enhance management of critical source areas including the towns of Houzhenzi and Chenhe.

Key words: fish-based index of biotic integrity (F-IBI); index-based system; Qinling; Heihe River; ecological health assessment