

文章编号:1001-4179(2013)15-0065-04

# 鱼类生物完整性指标在河流健康管理中的应用

朱 迪, 扬 志

(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 武汉 430079)

**摘要:**探讨了鱼类生物完整性评价指标(F-IBI)的研究进展及其在河流健康管理中的应用适用性,构建了长江中上游地区F-IBI评价指标体系,并用该指标对长江中游浅水湖泊和上游三峡库区的生物完整性演变趋势做了评价。结果表明,长江流域多年来(1964~1998,1997~2002,2003~2008,2010)鱼类生物完整性呈明显下降趋势。中游浅水湖泊中,受人类干扰较大的湖泊或者年份的F-IBI得分较低。在三峡库区江段,从坝前到库尾,F-IBI值呈现递增趋势,同时,支流江段的健康状况明显优于库区干流水域。总体而言,各个江段的生物完整性等级均为差。上述案例中生物完整性的时空变化趋势与其他研究的评价结果互为补充验证。

**关键词:**河流健康;鱼类生物完整性指数(F-IBI);流域管理;三峡库区;长江流域

中图法分类号:TV213.4 文献标志码:A

## 1 河流健康的概念与内涵

Schofield 和 Davies 把河流健康定义为自然性:“河流健康就是指与相同类型的未受干扰的(原始的)河流的相似程度,尤其是在生物完整性和生态功能方面。”<sup>[1]</sup>Simpson 等则把河流健康定义为河流生态系统支持与维持的主要生态过程,以及具有一定种类组成、多样性和功能组织的生物群落,尽可能接近受扰前的状态的能力<sup>[2]</sup>。这些定义提供了这样一种思路:通过与基准状态的河流相比较来监测和评价河流健康。

传统的河流环境评价是以物理、化学指标为基础,通过对物理化学指标的分析来反映河流系统所处的环境条件状况<sup>[3]</sup>。这种评价并不能有效地反映河流生态系统的健康状态,因为它实质上说明的是生态系统所面临的环境压力,而不是生态系统对环境条件变化的响应及受到的影响。从现今发展来看,采用多种评价指标进行河流健康评价已成为一种趋势。以下是国外主要的河流健康评价方法<sup>[4-6]</sup>。

(1) RIVPACS 法。Wright(1984)利用区域特征预测河流自然状况下应存在的大型无脊椎动物,并将预

测值与该河流的实际监测值相比较,从而评价河流健康状况。该法能较为精确地预测某地理论上应该存在的生物量;但该方法基于河流任何变化都会影响大型无脊椎动物这一假设,具有一定片面性。

(2) AUSRIVAS 法。Simpson(1994)针对澳大利亚河流特点,在评价数据的采集和分析方面对 RIV-PACS 方法进行了修改,使得模型能够广泛用于澳大利亚河流健康状况的评价。该法能预测河流理论上应该存在的生物量,结果易于被管理者理解;但该方法仅考虑了大型无脊椎动物,并且未能将水质及生境退化与生物条件相联系。

(3) IBI 法。Karr(1981)着眼于水域生物群落结构和功能,用 12 项指标(河流鱼类物种丰富度、指示种类别、营养类型等)评价河流健康状况。该法包含一系列对环境状况改变较敏感的指标,从而对所研究河流的健康状况做出全面评价;但对分析人员专业性要求较高。

(4) RCE 法。Petersen(1992)用该法快速评价农业地区河流状况,包括河岸带完整性、河道宽(深)结构、河岸结构、河床条件、水生植被、鱼类等 16 个指标,

收稿日期:2013-04-01

基金项目:“十二五”国家科技支撑计划课题“三峡库区及长江中游生态系统结构与功能完善关键技术研究示范”(2012BAC06B04)

作者简介:朱 迪,女,助理研究员,博士,主要从事水生态研究。E-mail: zhudi@mail.ihe.ac.cn。

将河流健康状况划分为 5 个等级。该法能够在短时间内快速评价河流的健康状况;但该方法主要适用于农业地区,如用于评价城市化地区河流的健康状况,则需要进行一定程度的改进。

(5) ISC 法。Ladson(1999)构建了基于河流水文学、形态特征、河岸带状况、水质及水生生物 5 方面的指标体系,将每条河流的每项指标与参照点作对比评分,总分作为评价的综合指数。该法将河流状态的主要表征因子融合在一起,为科学管理提供指导;缺点是缺乏对单个指标相应变化的反映,参考河段的选择较为主观。

(6) RHS 法。Raven(1997)通过调查背景信息、河道数据、沉积物特征、植被类型、河岸侵蚀情况、河岸带特征以及土地利用等指标来评价河流生境的自然特征和质量。该法较好地将生境指标与河流形态、生物组成相联系;但选用的某些指标与生物的内在联系未能明确,部分用于评价的数据以定性为主,使得数据统计较为困难。

(7) RHP 法。Rowntree(1994)选用河流无脊椎动物、鱼类、河岸植被、生境完整性、水质、水文、形态等 7 类指标评价河流的健康状况。该法较好地运用生物群落指标来表征河流系统对各种外界干扰的响应;但在实际应用中,部分指标的获取存在一定困难。

近年来,我国学者已经开始从河流健康状况的视角来审视河流保护,在河流健康状况评价的方法学、河流的可持续管理等方面陆续开展了一些工作<sup>[7]</sup>。河流健康的概念已经得到了我国政府部门的认可,前水利部部长汪恕诚在第二届黄河国际论坛上指出,中国河流流域管理机构的首要任务是“维护河流的健康生命”。各大流域机构都已将维护河流健康作为主要的工作目标,如长江流域健康长江<sup>[8]</sup>、珠江流域健康指标体系<sup>[6]</sup>和黄河健康评价与修复基本框架<sup>[3]</sup>。本文通过选择符合特定地区特征的、受人为干扰相对较小的河流作为参照基准,以鱼类完整性指数(F-IBI)为评价指标,从河流健康角度评价长江流域不同区域水体的生态环境质量,为广泛开展的河流恢复项目提供基础数据和决策依据。

## 2 研究方法和材料

### 2.1 生物完整性指数法( IBI)

生物完整性指数( IBI)是由 Karr(1981)提出的一种水域生态系统健康状况评价指标,其定义为:“一个地区的天然栖息地中的群落所具有的种类组成、多样性和功能结构特征,以及该群落所具有的维持自身平

衡、保持结构完整和适应环境变化的能力”<sup>[4]</sup>。以鱼类为评价对象的 IBI(F-IBI)由 12 个指标 3 大类别组成:① 种类丰度和组成;② 食性结构;③ 鱼类丰度和健康状况。每一个指标被赋值 5 或 3 或 1,若该指标的原始数据接近期望值即被赋值为 5,若该指标的数据严重偏离期望值就赋值为 1,若处于两者之间则赋值为 3。所有指标赋值的总和表示实测数据和期望鱼类群落数据的偏离程度。

### 2.2 鱼类群落调查方法

本研究数据均采用商业捕捞渔获物调查法。调查网具为三层刺网和定置沿绳钊钩等,现场对象为专业捕捞的渔民。在调查期间逐日分析调查起始日至该调查日的鱼类种类变化特征,若连续 7 个调查日中渔获物的种类组成没有差异,则表明调查已经满足采样统计要求,此次采样工作结束。对所获得的渔获物样本,现场鉴定渔获物种类,逐尾测量全长、体长、体重,并记录鱼体的受伤、寄生虫等个体情况。对个别没有在当时确定到种的鱼类标本,用 5%~10% 的福尔马林浸泡,运回实验室进行二次鉴定和测量。种类鉴定主要依据《四川鱼类志》、《中国动物志 硬骨鱼纲 鲤形目(中卷)》、《中国动物志 硬骨鱼纲 鲤形目(下卷)》等文献。

## 3 F-IBI 在长江流域健康评价中的应用

### 3.1 长江中游浅水湖泊鱼类生物完整性变化

根据历史基准资料,建立了适合长江中游浅水湖泊的 F-IBI 指标体系,其指标体系以及生物完整性等级划分与特征如表 1,2 所示。

表 1 适合长江中游浅水湖泊的 F-IBI 指标体系

属性	指标	评分标准		
		5	3	1
种类丰度和组成	种类数占期望值的比例	>60%	30%~60%	<30%
	鲤科鱼类种类数百分比	<45%	45%~60%	>60%
	鳅科鱼类种类数百分比	2%~4%	4%~6%	6%~8%
	鲢科鱼类种类数百分比	2%~5%	5%~8%	9%~12%
	商业捕捞获得的鱼类科数	>18	12~18	<12
	鲫鱼(放养鱼类)比例	7%~22%	23%~38%	39%~54%
营养结构	杂食性鱼类的数量比例	<10%	10%~40%	>40%
	底栖动物食性鱼类的数量比例	>45%	20%~45%	<20%
	肉食性鱼类的数量比例	>10%	5%~10%	<5%
丰富度和个体健康状况	单位渔产量	>100	80~40	<40
	外来种所占比例	0%	0~1%	>1%
	感染疾病和外形异常个体比例	0~2%	2%~5%	>5%

注:单位渔产量单位为 kg/hm<sup>2</sup>。

以长江中游浅水湖泊洪湖为例,该湖 F-IBI 评价结果表明(表 3),洪湖从 1964 年至 1998 年,生物完整性逐年降低;以 1992 年前后的资料进行横向比较,东

湖、洪湖、保安湖和三湖连江水库的 F - IBI 值分别为 22,28,38 和 42,其中东湖的生物完整性表现极差、洪湖为差、保安湖和三湖连江水库为一般,表明各个湖泊均受到一定程度的人工干扰<sup>[9]</sup>。

表 2 F - IBI 值、生物完整性等级划分及特征

IBI 数值	完整性等级	IBI 数值	完整性等级
53 ~ 60	极好	23 ~ 32	差
43 ~ 52	好	13 ~ 22	极差
33 ~ 42	一般	NF	没有鱼

表 3 长江中游浅水湖泊鱼类生物完整性指数 (F - IBI) 评价赋分

指标	洪湖		东湖		保安湖	三湖连江
	1964	1981	1993	1998	1992	1992
IBI 值	52	40	28	26	22	38
生物完整性等级	好	一般	差	差	极差	一般

### 3.2 长江上游三峡库区鱼类生物完整性变化

#### 3.2.1 指标的提出

根据长江上游宜宾至宜昌江段历史数据和资料(1997 ~ 2002),分析鱼类群聚结构和组成特征,构建适合于长江上游江段的鱼类生物完整性指标体系(表 4)。

表 4 适合于长江上游的 F - IBI 指标和赋值标准

属性	指标	赋值		
		5	3	1
种类丰度和组成	所有本地种数占期望值的比例	>50%	30% ~ 50%	<30%
	鲤科鱼类所占比例	>50%	25% ~ 50%	<25%
	鳊科鱼类所占比例	>15%	5% ~ 15%	<5%
	鲮科鱼类所占比例	>20%	5% ~ 20%	<5%
非耐受/耐受性种类	耐受性个体所占比例	<6%	6% ~ 12%	>2%
	渔获物中出现的科数	>18	12 ~ 18	<12
营养结构	杂食性鱼类所占比例	<8%	8% ~ 15%	>15%
	底栖动物食性鱼类所占比例	>40%	20% ~ 40%	<20%
	顶级肉食性鱼类所占比例	>15%	5% ~ 15%	<5%
丰富度指标	单位努力捕捞量	>2	1 ~ 2	<1
个体健康状况	非本地种所占的比例	<1%	1% ~ 2%	>2%
	DELT 个体所占比例	<2%	2% ~ 5%	>5%

注:单位努力捕捞量单位为 kg/船;DELT 指外表畸形、鳍损伤、鱼体受损、肿瘤、疾病和寄生虫的个体。

#### 3.2.2 1997 ~ 2002 年指标评价

对长江上游宜宾至宜昌干流河段进行初步评价,分析结果表明(表 5):三峡库区江段的多数生物完整性处于一般和良好等级,其中,宜宾、合江、木洞和宜昌在 1997 年的生物完整性分别为“极好”、“好”、“好”和“一般”;1998 年均为“好”;1999 和 2000 年都是“好”和“一般”;在 2001 和 2002 年的生物完整性都是“一般”。在统计上,F - IBI 的得分在 6 a 的范围内降

低了,多数 F - IBI 值被划分为“好”和“一般”两个等级<sup>[10]</sup>。

表 5 1997 ~ 2002 年 4 个监测江段的 F - IBI 指标评价

年份	IBI 得分及评价			
	宜昌	合江	宜宾	木洞
1997	46(极好)	38(一般)	56(极好)	40(一般)
1998	52(好)	32(差)	42(一般)	52(好)
1999	42(一般)	50(好)	50(好)	48(好)
2000	40(一般)	48(好)	42(一般)	50(好)
2001	42(一般)	44(好)	44(好)	44(好)
2002	44(好)	46(好)	42(一般)	42(一般)

#### 3.2.3 2003 ~ 2008 年指标评价

根据 2003 ~ 2008 年对长江上游三峡库区的鱼类调查数据,采取表 4 所构建的适合于长江库区的 F - IBI 指标和赋值标准及等级评价标准,分别整理出三峡库区不同江段的鱼类分布、群落数量结构和鱼类食性数据,计算各个区域相应指标的得分。根据计算结果,长江上游鱼类生物完整性处于一般等级,三峡库区万州站个别年份(2006 ~ 2007)鱼类生物完整性等级为差。在统计上,长江上游 F - IBI 得分在 6 a(2003 ~ 2008)内降低,多数 F - IBI 值被划分为一般等级(图 1)。

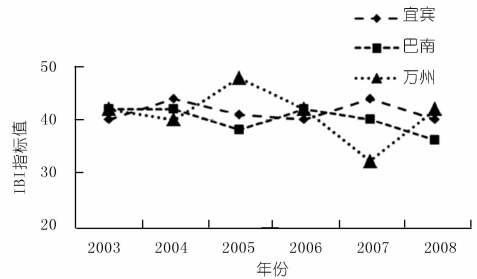


图 1 2003 ~ 2008 年间长江三峡库区宜宾、巴南和万州段 F - IBI 值变化

#### 3.2.4 2010 年指标评价

于 2010 年,对三峡库区及 4 条支流香溪河、九畹溪、大宁河、磨刀溪的生物完整性进行了评价。评价结果表明:香溪河、九畹溪、大宁河、磨刀溪的生物完整性得分分别为 40,38,40,44,表明香溪河、九畹溪、大宁河生物完整性等级均为“一般”,磨刀溪为“好”。由评价结果可以看出,在库区干流江段,随着从坝前向库尾延伸,健康指数呈现递增趋势。库尾江段的健康状况明显优于库区中下游江段;同时,支流江段的健康状况明显优于库区干流水域。此外,受工程影响较小的巫山江段的健康状况也优于受三峡水库影响较大的北碚江段。但总体而言,各个江段的生物完整性等级均为差(F - IBI 值 < 42),表明库区整体水域受人工干扰的程度较大。

## 4 结论与讨论

随着人类活动的加剧,围湖造田、水污染、江湖阻隔以及渔业的过度开发利用等已成为长江流域水体面临的几个主要环境问题,这些问题严重干扰了水体的生物完整性。本文研究结果表明,三峡库区各个江段的生物完整性均处于“差”到“一般”等级;在库区干流江段,随着从坝前向库尾延伸,F-IBI值呈现递增趋势,其中库尾江段的健康状况明显优于库区中下游江段,支流江段的健康状况明显优于库区干流水域,表明库区整体水域受人工干扰的程度较大。同时,人类活动影响如大型水利工程建设、过度捕捞、环境污染等不同的环境胁迫,对水域生物完整性所造成的后果也是不一样的,应该进行分类和界定,以期找到最有效的解决方案。水生生态环境过去所遭受的破坏已不能完全恢复,但应避免已遭受破坏的生态环境更加恶化,并应花更大力气去保护那些尚未遭受影响的水域环境。

在我国的河流评价和管理中,人们习惯于用单一评价指标作为关键控制性指标<sup>[3]</sup>,认为IBI评价指标体系过于专业和复杂,难以在实际管理中推广使用,甚至有人建议在评价健康长江的指标体系中,用鱼类损失指数作为鱼类群落状况指标。但在国外相关文献和记载中,由于是专业技术人员,参与包括生态监测、数据分析乃至管理策略制定在内的河流管理活动,加上长期的监测积累了大量数据,制定且细化了相关操作流程、技术方案、评价划分标准,使得应用IBI评价法有章可循,如美国环境管理局(EPA)制定了监测评价

流程。因此,建议在我国流域健康管理中应用IBI评价法时,应进行属地化研究,制定出一套适合于我国流域实际情况,与美国EPA标准有差别的,受国际认可的评价程序。

### 参考文献:

- [1] Schofield N. J, Davies P. E. Measuring the health of our rivers[J]. Water, 1996, May/June.
- [2] Simpson, J, R Norris, L Barmuta, et al. Australian River assessment system: National river health program predictive model manual[EB/OL]. [http://ausrivs. canberra. au](http://ausrivs.c Canberra. au).
- [3] 赵彦伟,杨志峰,姚长青. 黄河健康评价与修复基本框架[J]. 水土保持学报,2005,(19)5:131-134.
- [4] Karr, J. R. Assessment of biotic integrity using fish communities[J]. Fisheries, 1981, 6(6):21-27.
- [5] Smith, M J, Kay, W R, Edward, D H D., et al. AusRivAS: Using macroinvertebrates to assess ecological condition of rivers in Western Australia[J]. Freshwater Biology, 1999, 41:269-282.
- [6] 林木隆,李向阳,杨明海. 珠江流域河流健康评价指标体系初探[EB/OL]. <http://www. pearlwater. gov. cn/ztzl/laszj/bjzm/detail.jsp? recid = 12800>
- [7] 唐涛,蔡庆华,刘健康. 河流生态系统健康及其评价[J]. 应用生态学报,2002,13(9):1191-1194.
- [8] 蔡其华. 维护健康长江,促进人水和谐[J]. 中国水利,2005,(8).
- [9] 朱迪,常剑波. 长江中游浅水湖泊生物完整性评价[J]. 生态学报,2004,24(12):2761-2767.
- [10] Di Zhu, Jianbo Chang. Annual variations of biotic integrity in the upper Yangtze River using an adapted index of biotic integrity (IBI) [J]. Ecological Indicators, 2008, 8:564-572.
- [11] Karr, J R, E W, Chu. Sustaining Living Rivers[J]. Hydrobiologia. 2000, 422/423:1-14.

(编辑:郑毅)

## Application of fish index of biotic integrity in river health management

ZHU Di, YANG Zhi

(Institute of Hydroecology, Ministry of Water Resources and Chinese Academy of Sciences, Key Laboratory of Water Project Ecological Effect and Ecological Restoration, Wuhan 430079, China)

**Abstract:** The research progress of fish index of biotic integrity (F-IBI) and its applicability in river health management are discussed. The establishment of the evaluation system by F-IBI for the middle and upper Yangtze River is established and the evolution tendencies of species integrity in shallow lakes of middle Yangtze River and in the Three Gorges Reservoir area are evaluated. The evaluation results show that the biotic integrity of fishes for years (1964~1998, 1997~2002, 2003~2008, 2010) in the basin has an obvious downward trend. The F-IBI values of the shallow lakes influenced obviously by human activities are lower, including those seriously affected by the activities in some years; in the river reach of Three Gorges Reservoir area, F-IBI values increase from the dam site to the reservoir tail, the health situation of the tributaries is better than that of the main stem. In general, the grade of biotic integrity of various river reaches of Yangtze River is poorer. The temporal and spatial variation tendency of biotic integrity given is mutually verified with other water environmental quality evaluation results of Yangtze River.

**Key words:** river health; fish index of biotic integrity (F-IBI); basin management; Three Gorges Reservoir area; Yangtze River Basin