

长江中游浅水湖泊生物完整性时空变化

朱 迪^{1,2}, 常剑波^{1,2*}

(1. 中国科学院水生生物研究所, 武汉 430072; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要:介绍了采用 Karr 提出、经 Fausch 等修订后的生物完整性指数 (IBI) 进行水环境质量评价的原理和概念, 并根据长江中游鱼类种类组成特征、可获得数据的类型和资料的性质, 初步建立了适合长江中游浅水湖泊的 IBI 体系。同时, 以基本保持了长江中游浅水湖泊自然属性的五湖 1978 年的调查数据为参照, 选择长江中游不同类型的浅水湖泊进行了生物完整性时空变化的比较研究。结果表明: 以洪湖为例进行纵向比较, 在 1964、1981、1993 年和 1998 年等 4 个不同的年代, 其生物完整性呈逐步下降的趋势; 以 20 世纪 90 年代初期的资料进行横向比较, 三湖连江水库和保安湖的生物完整性表现为一般, 洪湖为差, 东湖则很差。上述湖泊所呈现的生物完整性的时空变化趋势与其它相关研究所反映的湖泊水环境质量互为补充验证, 可以为湖泊管理、持续发展和利用以及水环境保护提供更为充分的科学依据。

关键词:浅水湖泊; 长江中游; 生物完整性; IBI

Evaluation on temporal and spatial changes of biological integrity for shallow lakes in the middle reach of the Yangtze River

ZHU Di^{1,2}, CHANG Jian-Bo^{1,2*} (1. Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, China; 2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(12): 2761~2767.

Abstract: The purpose of this paper was to introduce the conceptual use of the index of biotic integrity (IBI) to the Chinese ecologists, promoting the IBI system suitable for the Chinese inland waters, with particular emphasis on evaluation of shallow lakes in the middle reach of the Yangtze River. According to the characteristics of fish assemblages in lakes in the reach, we modified the IBI originally developed by Karr. An adaptive IBI was obtained, which included 12 metrics: number of total native fish species, number of species in the family Cyprinidae, number of species in Bagridae catfishes, number of species in the family Cobitidae, percent of crucian carp individuals, number of families in commercial catches, percent of omnivores individuals, percent of insectivores individuals, percent of carnivores individuals, the unit yield of fish, percent of hybrids, and percent of anomalies in the fish assemblages. This IBI was used to assess the ecological integrity of five shallow lakes: Wuhu, Honghu, Baoanhu, Donghu Lakes, and Sanhulianjiang Reservoir. The historical data on fish assemblages obtained from Wuhu Lake were employed as background information to be representative of a natural/undisturbed state of lakes in the reach. Though these data might not be fully reliable as the sampling methods used had not been calibrated and therefore contained some uncertainty, it was believed that data obtained from one lake for extensive time series and data deriving from different lakes for a limited period were sufficient to allow the first attempt to a modified IBI for evaluating on temporal and spatial changes of biological integrity within the research area. Comparing the data from different years in Honghu Lake, the IBI was estimated to be 52, 40, 28, and 26 in 1964, 1981, 1992, and 1998 respectively, showing that in the lake biological integrity decreased gradually in the past 40 years. On the other hand, data comparison of four lakes in early 1990s revealed that the

基金项目:国家自然科学基金重大资助项目(30490233); 中国科学院知识创新工程重要方向资助项目(KSCX2-SW-111)

收稿日期:2004-04-23; **修订日期:**2004-07-18

作者简介:朱迪(1978~), 女, 安徽人, 博士生, 主要从事鱼类生态和保护生物学研究. E-mail: zhudi@ihb.ac.cn

* 通讯作者 Author for correspondence, E-mail: jibchang@ihb.ac.cn

致谢:本文得到《J. Appl. Ichthy.》主编 Harald Rosenthal 教授的指导, 在此谨表感谢

Foundation item: National Natural Science Foundation of China (No. 30490233) and Knowledge Innovation Project of Chinese Academy of Sciences (No. KSCX2-SW-111)

Received date: 2004-04-23; **Accepted date:** 2004-07-18

Biography: ZHU Di, Ph. D. candidate, mainly engaged in ecology and conservation biology of fishes.

biological integrity was “fair” in Baoanhu Lake and Sanhulianjiang Reservoir, whereas in Honghu and Donghu Lakes the biological integrity represented “poor” and “very poor” conditions, respectively. These results provided a kind of scientific evidence for the state of environmental health in these lakes that could be used in sustainable management. Finally, the applicability of the modified IBI to identify disturbances and the suitability of this method in Chinese inland waters management were discussed. It was expected that such an index may be indicative of the effect of management decisions in terms of sustainability and adaptive resource utilization in China.

Key words: shallow lakes; middle Yangtze River; biological integrity; IBI

文章编号:1000-0933(2004)12-2761-07 中图分类号:X821 文献标识码:A

1981 年,美国学者 Karr 依据“一个良好的水域生态环境,必然存在一个完善的生物群落结构”的构想,提出用生物完整性指数(Index of Biotic Integrity, IBI)评价水环境质量,并筛选出反映水域生态系统中的生物群落的种类组成、营养结构和个体健康状况等 3 个方面特征的 12 个指标,进行量化后得到 IBI 的值,将水环境按生物完整性特征划分出 6 个不同的等级^[1]。生物完整性是指在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^[2]。最初,IBI 是作为一种水体污染评价指标提出的,它不仅弥补了理化监测的不足,而且能对水域的生物完整性做出评价,因此得到了广泛的认同,并被逐步应用于海湾、河口、湖泊、湿地、森林以及流域生态系统结构与功能衰退评价的研究中^[3~7]。尽管 IBI 存在指标地域差异性大、各指标评分主观性强,以及缺乏有效的统计评判等问题^[1],迄今为止仍不失为对水域生态系统进行生物完整性评价的最为有效的手段之一。经过 20 多年的努力,IBI 在理论和实践上都有了一定的发展,其应用已从美国和加拿大拓展到南极洲之外的各大洲的国家和地区^[8~12]。

本文主要目的是介绍基于 IBI 评价水体生物完整性的基本原理,尝试建立适合我国长江流域地区的 IBI 指标体系,并应用于长江中游浅水湖泊生物完整性时空变化的研究。我国有丰富的水资源,随着人类活动的加剧,围湖造田、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,严重干扰了水体的生物完整性。研究长江中游浅水湖泊生物完整性的时空变化以及导致这种变化的深层原因,对于湖泊的综合开发利用、资源管理决策以及水环境保护都有重要意义。

1 材料和方法

1.1 IBI 指标体系

自 1981 年 Karr 首次提出 IBI 以来,其指标体系已经发展为多种形式。不同的研究者选择鱼类(F-IBI)、底栖动物(B-IBI)、浮游生物(P-IBI),或不同类群生物综合为对象,根据研究地域和水域生态系统的特点,以及数据的可获得性等情况,选择 5、6、10、11 或 12 个指标进行生物完整性的评价^[9,10]。其中,经 Fausch 等修订后的,采用 12 个指标的 IBI 体系得到了较为广泛的应用(表 1)^[2,13]。运用 IBI 对某一水域进行评价时,先要根据历史资料,或对同一生态地区中没有或较少受到人类活动干扰的水域进行调查获得的数据确定各指标的期望值^[14];然后,根据在待评估水域中调查获得的各指标数据与期望值接近、偏离或强烈偏离等不同情况,分别赋以 5、3 或 1 的分值;最后将各指标的分值累加,得到 IBI 的值^[1]。这样,由 12 个指标构成的 IBI 的累计分值就在 12~60 之间,将其等分为 6 个区间,则水体的生物完整性可划分成 6 个等级(表 2)^[1,2,14]。

1.2 研究地域

本文选择长江中游地区的几种不同类型的浅水湖泊进行生物完整性的时空变化比较。其中五湖(113°48'E, 30°12'N)位于江汉平原的南部,正常水位时面积 20km²,汛期可达 80 km²,与长江和汉江自然相通,江湖之间沟通良好,除湖泊型鱼类外,在不同季节还有洄游性和江河型鱼类出现^[15,16];洪湖(113°17'E, 29°49'N)位于江汉平原东南部,面积 344.4km²,50 年代末建闸与长江隔绝后,洄游性鱼类逐渐消失,加上过度捕捞等因素的影响,鱼类资源不断衰退^[17];保安湖(114°23'E, 30°15'N)位于江汉平原东部边缘,属于梁子湖水系,面积 39.3km²,其鱼类除湖泊定居种类外,还有人工投放和从梁子湖、三山湖引进的洄游性和半洄游性鱼类,鲤、鲫、鳊和团头鲂等是主要捕捞对象^[20];东湖(114°23'E, 30°33'N)位于武汉市东郊,水位 20.5m 时,面积约 27.9km²,20 世纪 60 年代初青山港建闸后与长江彼此隔绝,湖中洄游性鱼类消失,目前高密度放养鲢、鳙等鱼类,湖周地表普遍硬化,是一个典型的都市湖泊^[19];三湖连江水库(113°91'E, 29°97'N)位于长江中游南岸,湖北省嘉鱼县城关镇境内,面积 30.64 km²,库中除了人工放养的青、草、鲢、鳙、细鳞鲴等鱼类外,还有随着江水进入的一些江河型和江湖洄游型鱼类^[21](图 1)。

1.3 数据来源与处理

先根据长江中游鱼类种类组成特征^[22,23],对表 1 的有关指标进行替换,然后采用商业捕捞的渔获物统计数据对各指标赋值。以五湖 1978 年的调查结果为主^[15],确定各指标的期望值。将洪湖自 1960 年以来不同历史时期的资料分析整理^[17,18]①,评价

① 沈建忠.《洪湖和洞庭湖鲫生活史特性的比较研究》.中国科学院水生生物研究所博士学位论文,2001

生物完整性的时间序列变化;将 1990 年代初期,洪湖、东湖、保安湖和三湖连江水库的资料进行比较^[17~21],评价不同类型湖泊生物完整性的空间差异。

表 1 Fausch 等修订的 IBI 指标体系

Table 1 Metrics of index of biotic integrity modified by Fausch

属性 Attributes	指 标 Metrics	评分标准 Metric scores criteria		
		5	3	1
种类结构 Species composition	1. 总的种类数 Total number of native fish species	根据地区和河流的大小,制定期望值,划分出 1~5 的评分标准 Exceptions for metrics 1~5 vary with stream size and region		
	2. 河鲈科鱼类的种类数和密度 Species richness and composition of Darters			
	3. 亚口鱼科鱼类的种类数和密度 Species richness and composition of Suckers			
	4. 太阳鱼科鱼类的种类数和密度 Species richness and composition of Sunfish			
	5. 耐受力差的鱼类的种类数和密度 Species richness and composition of intolerant species			
	6. 绿太阳鱼的数量比例 Proportion of Green Sunfish	<5%	5%~20%	>20%
营养结构 Trophic composition	7. 杂食性鱼类的数量比例 Proportion of Omnivores	<20%	20%~45%	>45%
	8. 昆虫食性鱼类的数量比例 Proportion of Insectivorous	>45%	20%~45%	<20%
	9. 食鱼性鱼类的数量比例 Proportion of top Carnivores	>5%	1%~5%	<1%
数量和体质状况 Fish abundance and condition	10. 样本中的个体数量 Number of individuals in sample	按河流和采样方法进行评价 Exceptions for metrics 10 vary with stream size and sampling methods		
	11. 天然杂交个体的数量比例 Proportion of hybrid individuals	0	0%~1%	>1%
	12. 感染疾病和外形异常个体的数量比例 Proportion of individuals with disease, parasites, or other anomalies	0%~2%	2%~5%	>5%

表 2 生物完整性等级划分及特征

Table 2 Classes of biological integrity and their attributes corresponding to IBI scores based on the sum of 12 metric ratings

IBI 数值 IBI Score	特征 Attributes	完整性等级 Integrity class
58~60	相对而言没有人类的干扰,依地理区系、河流大小和生境特点,所有期望出现的种类,包括耐受性极差的种类都存在,并具有完整的年龄级;平衡的营养结构、极少天然杂交和感染疾病的个体;极少或没有引进种 Comparable to the best situations without human disturbance; all regionally expected species for the habitat and stream size, including the most intolerant forms, are present with a full array of age (size) classes; balanced trophic structure	极好 Excellent
48~52	由于耐受性极差的种类的消失,种类丰度略低于期望值;某些种类的数量、年龄结构和大小分布低于期望标准;营养结构显示出某种压力讯号,但仍极少天然杂交和感染疾病的个体;引进种个体的数量比例通常很低 Species richness somewhat below expectation, especially due to the loss of the most intolerant forms; some species are present with less than optimal abundances or size distributions; trophic structure shows some signs of stress.	好 Good
40~44	环境恶化的讯号增加,包括:耐受性差的种类丧失、较少的种类和通常的数量下降;杂食物性和耐受力强种类的频度增加使营养结构偏斜;高年龄级个体和顶级食肉者可能罕见、天然杂交和感染疾病的个体的出现高于一般水平;引进种个体的数量比例上升 Signs of additional deterioration include loss of intolerant forms, fewer species, highly skewed trophic structure, older age classes of top predators may be rare	一般 Fair
28~34	少数种类,主要是杂食性种类、耐受性强的种类、适应多种栖息地的种类或引进种类等,占据优势;极少顶级肉食者;年龄级缺失,数量、生长和体质等指标下降;天然杂交和感染疾病个体出现较多 Dominated by omnivores, tolerant forms, and habitat generalists; few top carnivores; growth rates and condition factors commonly depressed; hybrids and diseased fish often present	差 Poor
12~22	除引进种和耐受性强的杂食性种类外,鱼类较少;天然杂交个体很普遍,感染疾病和寄生虫、鳍损坏和其它外形异常的个体的比例很高 Few fish present, mostly introduced or tolerant forms; hybrids common; disease, parasites, fin damage, and other anomalies	极差 Very poor
	重复采样,没有发现鱼 Repeated sampling finds no fish	没有鱼 No fish

2 结果

2.1 长江中游浅水湖泊的鱼类组成特征

长江中游各类水体共有鱼类 24 科 121 种,可以分为洄游型、半洄游型、湖泊型、江河型等 4 个生态类型^[15,16]。1978 年在五湖的周年调查共记录到 20 科 87 种;洪湖 1964 年记录到鱼类 19 科 74 种,1981 年 18 科 54 种,1993 年 15 科 57 种,1998 年 15 科 20 种;保安湖 1992 年记录到鱼类 14 科 60 种;东湖 1992 年记录到鱼类 10 科 38 种;三湖连江水库 1992 年记录到鱼类 17 科 69

种(表 3)。由于水利工程兴建造成的江湖阻隔,切断了鱼类的洄游通道,故在阻隔湖泊中鱼类资源的演化趋势是洄游、半洄游型鱼类减少,湖泊定居型鱼类比例上升^[20]。

2.2 长江中游浅水湖泊的 IBI 指标体系

根据长江中游鱼类资源特点,以及数据的可获得性等情况,仍采用 12 个指标进行浅水湖泊的生物完整性评价(表 4)。与 Fausch 等(表 1)比较,作者采用的 IBI 指标体系具有如下特点:以鲤科、鳅科和鲿科在商业捕捞中的状况作为反映鱼类种类组成特征的主要指标;各指标的赋值主要依据商业捕捞的渔获物统计所获得相对数量比例特征;由于不能确定耐受力差的种类,以渔获物统计中记录到鱼类的科数作为替代;以在中国分布最广的鱼类——鲫作为耐受力强种类的指标,因在高密度放养湖泊中其比例偏低,故视情形用放养鱼类的比例作为替代;以单位鱼产量作为鱼类密度(生物量)的指标(表 4)。

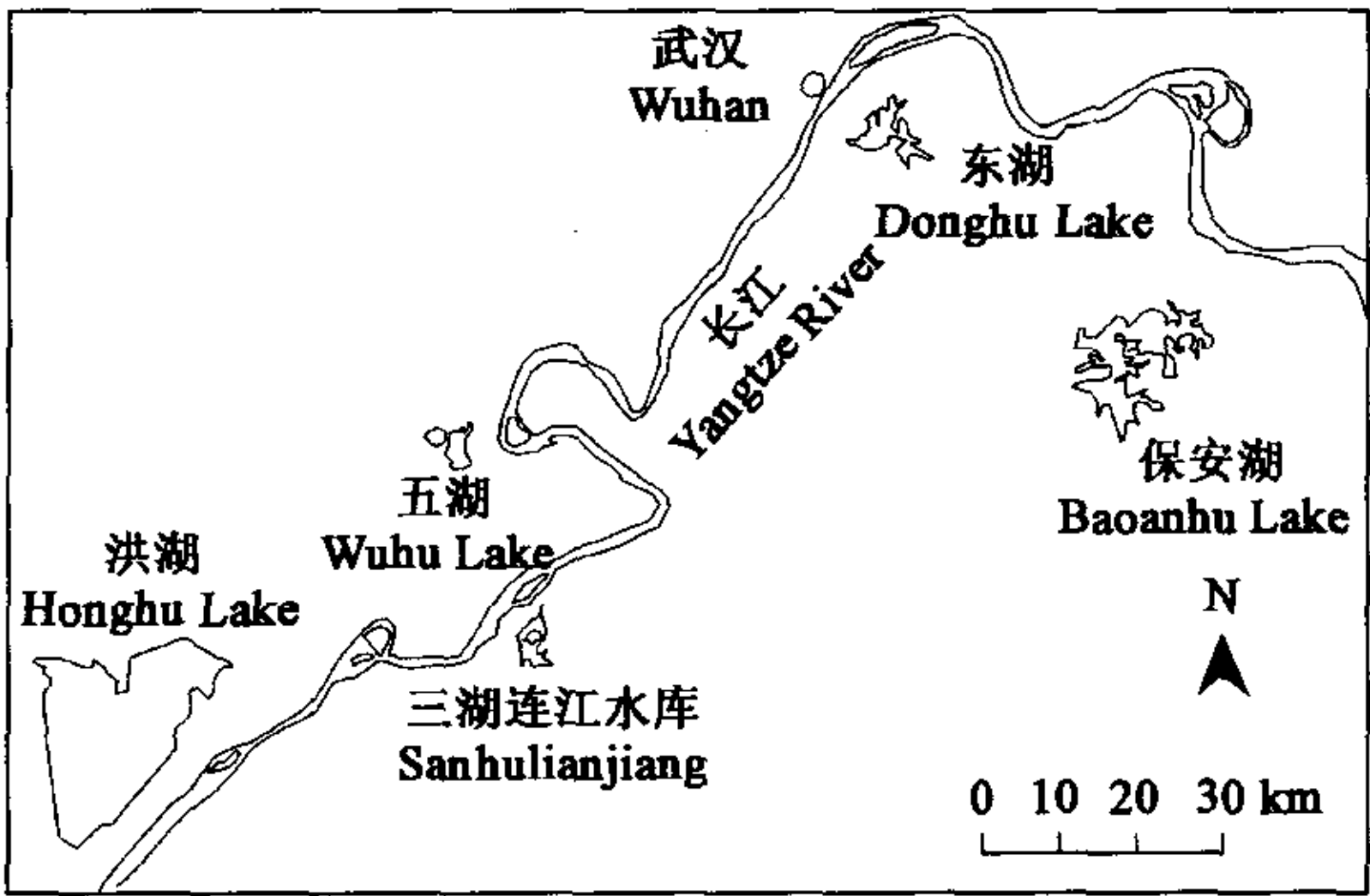


图 1 长江中游浅水湖泊分布

Fig. 1 Distribution of the shallow lakes in the middle Yangtze River

表 3 长江中游水域各科鱼类的种类数

Table 3 Number of fish species in different families in the middle reach of the Yangtze River

科 Families	长江中游	五湖	洪湖				保安湖	东湖	三湖连江
	Middle reach of Yangtze River	Wuhu	Honghu				Baoanhu	Donghu	Sanhulianjiang
		1978	1964	1981	1993	1998	1992	1992	1992
1. 鲟科 <i>Acipenseridae</i>	2	0	0	0	0	0	0	0	0
2. 白鲟科 <i>Polyodontidae</i>	1	1	0	0	0	0	0	0	0
3. 鲱科 <i>Clupeidae</i>	3	3	2	1	1	1	0	0	1
4. 银鱼科 <i>Salangidae</i>	3	3	2	1	2	2	0	0	1
5. 鳊鲂科 <i>Arguilliidae</i>	1	1	1	1	0	0	1	1	1
6. 鲤科 <i>Cprinidae</i>	63	46	44	31	37	5	39	28	43
7. 胭脂鱼科 <i>Catostomidae</i>	1	1	1	1	0	0	0	0	1
8. 平鳍鳅 <i>Homalopteridae</i>	1	1	0	0	0	0	0	0	0
9. 鳅科 <i>Cobitidae</i>	9	7	3	3	2	2	4	1	3
10. 鲿科 <i>Bagridae</i>	14	9	7	2	3	3	2	1	4
11. 钝头鲩 <i>Amblycipitidae</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0
12. 鲇科 <i>Siluridae</i>	2	2	2	2	1	1	1	0	2
13. 鮡科 <i>Sisoridae</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0
14. 胡子鲶科 <i>Clariidae</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0
15. 青鳉科 <i>Oryziatidae</i>	1	1	1	1	1	1	1	0	1
16. 鱮科 <i>Hemirhamphidae</i>	1	1	1	1	1	1	1	0	1
17. 合鳃科 <i>Synbranchidae</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
18. 鲈科 <i>Serranidae</i>	5	3	2	2	2	2	2	1	3
19. 塘鳢科 <i>Eleotridae</i>	2	2	2	2	2	2	2	2	2
20. 鰕虎鱼科 <i>Gobiidae</i>	3	1	1	1	1	1	3	1	1
21. 斗鱼科 <i>Belontiidae</i>	1	1	1	1	1	1	1	0	2
22. 鱧科 <i>Channidae</i>	2	1	1	1	1	1	1	1	1
23. 刺鳅 <i>Mastacembelidae</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
24. 鲃科 <i>Teraodontidae</i>	1	1	1	1	0	0	0	0	0
种数 Number of species	121	87	74	54	57	20	60	38	69
科数 Number of families	24	20	19	18	15	15	14	10	17

2.3 长江中游浅水湖泊生物完整性的时空变化

洪湖在 1964、1981、1993 年和 1998 年等 4 个不同的年代,IBI 值依次为 52、40、28 和 26,对应的生物完整性等级为好、一般、差和差,呈现逐步下降的趋势,反映了人类活动的加强及其累加效应导致了水体的生物完整性逐步丧失;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 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,所反映的是受人类干扰的程度不同导致的水域生物完整性的差异(表 5)。

3 讨论

3.1 IBI 与人类活动对水域生物完整性影响的评价

与其它水生生态系统评价指标相比,基于鱼类的 IBI 评价体系的优点是:①弥补了理化监测的不足;② IBI 是一个综合性的指标,不仅包括鱼类种群和个体状况,还包含群落结构和功能等更高层次的信息,对水环境质量的评价结果具有生物学意义;③位于营养顶级的鱼类不仅直接对多种环境胁迫反应敏感,而且也能够将这些胁迫所造成的水域生态系统中其它要素的变化,如生境和大型无脊椎动物等综合反映出来;④鱼类的生活史相对较长,种群变动能反映其繁殖策略和各个年龄级死亡率的变化,因此能提供环境胁迫的长期记录;⑤应用鱼类评价环境退化造成的社会价值的损失比其它生物种群更加直接和有说服力,同时,其不仅能对水环境质量做出较科学的评估,对鱼类及渔业资源状况本身也做出客观的描述^[13]。

表 4 适合长江中游浅水湖泊的 IBI 指标体系
Table 4 Adapted IBI system to shallow lakes in the middle Yangtze River

序号 No.	指标 Metrics	评分标准 Metrics scores criteria		
		5	3	1
1	种类数占期望值的比例(%)Number of total native fish species	>60	35~60	<30
2	鲤科鱼类种类数百分比(%)Number of species in the family Cyprinidae	<45	45~60	>60
3	鲇科鱼类种类百分比(%)Number of species in Bagridae catfishes	2~4	4~6	6~8
4	鲴科鱼类种类百分比(%)Number of species in the family Cobitidae	2~5	6~8	9~12
5	商业捕捞获得的鱼类科数 Number of families in commercial catches	>18	12~18	<12
6	鲫鱼(放养鱼类)比例*(%)percent of crucian carp individuals	7%~22	23~38	39~54
7	杂食性鱼类的数量比例(%)Percent of omnivores individuals	<10	10~40	>40
8	底栖动物食性鱼类的数量比例(%)Percent of insectivores individuals	>45	20~45	<20
9	鱼食性鱼类的数量比例(%)Percent of carnivores individuals	>10	5~10	<5
10	单位渔产量(kg/hm ²)The unit yield of fish	>100	80~40	<40
11	天然杂交个体的比例(%)Percent of hybrids	0	0~1	>1
12	感染疾病和外形异常个体比例(%)Percent of anomalies in the fish assemblages	0~2	2~5	>5

洪湖在不同的历史时期,生物完整性由好变差,反映了人类活动的加剧及其累加效应对水域生态系统的危害程度的加剧。这种人类活动的综合影响,不能用单一的水环境监测指标反映,而生物学或生态学的研究,其结果的表述又过于复杂和笼统,只有采用 IBI 的评价方法,才能直观和简洁地发现问题之所在。以 1990 年初期东湖、洪湖、保安湖和三湖连江水库 IBI 值的差异,考察长江中游浅水湖泊生物完整性的空间变化,可以发现人类活动对水域生态系统的干扰,以及这些水体抗干扰能力的综合表现。三湖连江水库的环境结构较为丰富,不仅有支流水系汇入,而且每年开闸引水,保持了与长江良好的沟通,生物完整性维持得最好;保安湖因有环境结构复杂的梁子湖水系支撑,具有较强的抗干扰能力,生物完整性也维持的较好;洪湖尽管具有很大的水面,但由于人类活动压力的持续增加,其生物完整性的维持机制已近崩溃;东湖则完全处于人类活动的控制之下,已经不具有自然生态系统的特点,因而从 IBI 的角度评价,其环境质量极低,完全没有自我更新的能力。

3.2 IBI 各指标的选择以及在我国的应用前景

采样数据能够反映采样点的真实情况、采样点能够作为所要评价的水域的代表、种类鉴定和数据分析的准确无误是 IBI 评价结果的正确与否的基础^[1]。与国外研究者多采用现场采样不同^[25,26],本文采用根据渔获物统计数据建立的 IBI 指标体系,基于下述理由:(1)我国淡水鱼类种类较多,但由于过度捕捞,各种的数量很少,短时间、小范围的现场采样容易导致很大的误差;(2)不同水体在不同时期积累的渔获物统计资料,有利于开展不同水体生物完整性时空变化的比较。由于采样方法没有标准化造成现有数据结构的局限,会使评价结论包含有一些不确定性,但现场采样的数据同样可能包含误差,这是 IBI 本身的缺陷。Seegert 因此认为,为了能够更好的适合所使用的数据,需要发展更加精确和严密的 IBI 指标体系^[27]。

长江中游地区共有鱼类 24 个科、121 种,但不可能同时出现在同一局部水域中。1978 年在五湖的周年调查结果,较好地反

表 5 长江中游浅水湖泊生物完整性的时空变化

Table 5 Classes of biological integrity for shallow lakes in the middle reach of the Yangtze River corresponding with values of IBI

指标 Metrics	洪湖 Honghu				东湖 Donghu	保安 Baoanhu	三湖连江 Sanhulianjiang
	1964	1981	1993	1998	1992	1992	1992
1	5	3	3	1	1	3	5
2	5	3	3	5	1	1	1
3	3	3	1	1	1	3	3
4	5	1	1	1	1	5	3
5	5	5	3	3	1	3	5
6	3	3	1	1	3	3	5
7	3	3	1	1	5	3	3
8	5	5	3	1	1	3	3
9	3	3	1	5	1	5	5
10	5	3	3	1	5	3	3
11	5	5	5	3	1	5	5
12	5	3	3	3	1	1	1
IBI 值 IBI Scores	52	40	28	26	22	38	42
生物完整性等级 Integrity Classes	好 Good	一般 Fair	差 Poor	差 Poor	极差 Very poor	一般 Fair	一般 Fair

映了当时的环境本底状况^[15]。同时,由于五湖环境结构的复杂性,与周边水域的沟通良好,以及受人类活动干扰较少等,使其可以作为长江中游浅水湖泊生物完整性维持的理想状况用于参照。因此,本文采用所建立的 IBI 指标体系,对长江中游不同浅水湖泊,在同一尺度下进行生物完整性时空变化的比较,以及所划分各湖泊的生物完整性等级合理和可信的,可资有关管理部门参考。今后,要结合生境调查和水质理化分析对 IBI 的分级结果进行验证和补充。同时,因为鱼类跟其它生物一样,通过生长、繁殖、死亡和补充等途径来适应环境的变化,在早期生活史阶段对环境变化尤为敏感,而且当年幼鱼的补充量对 IBI 的计算结果有一定的影响^[28~30],还可以将鱼类的早期生活史有关研究的结果整合到 IBI 中。此外,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。可以预见,当水环境的质量普遍受到重视后,维持一个良好水环境的生物完整性也会相应受到重视,IBI 将在我国水生生态系统评价方面得到广泛的应用。

References:

- [1] Karr J R. Assessment of biotic integrity using fish communities. *Fisheries*, 1981, 6(6): 21~27.
- [2] Karr J R, Dudley D R. Ecological perspective on water quality goals. *Environmental Management*, 1981, 5: 55~68.
- [3] Innis S A, Naiman R J, Elliott S R. Indicators and assessment methods for measuring the ecological integrity of semi-aquatic terrestrial environments. *Assessing the Ecological Integrity of Running Waters*. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2000. 111~131.
- [4] Toham A K, Teugel G G. First data on an Index of Biotic Integrity based on fish assemblages for the assessment of the impact of deforestation in a tropical West African river system. *Hydrobiologia*. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1999. 29~38.
- [5] Schiemer F. Fish as indicators for the assessment of the ecological integrity of large rivers. *Assessing the Ecological Integrity of Running Waters*, Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2000. 257~270.
- [6] Leonard P M, Orth D. Application and testing of an index of biotic integrity in small, cool water streams. *Transactions of the American Fishes Society*, 1986, 115: 401~415.
- [7] Lyons J. Using the index of biotic integrity (IBI) to measure environmental quality in warm water streams of Wisconsin. *St. Paul, Minn. USDA, Forest Service, North Central Forest Experiment Station, General Technical Report NC-149*, 1992. 51.
- [8] Seegert G. The development, use, and misuse of biocriteria with an emphasis on the index of biotic integrity. *Environmental Science & Policy*, 2000, (3): 51~58.
- [9] Miller D L, Leonard P M, Hughes R M, et al. Regional applications of biotic integrity for use in water resource management. *Fisheries*, 1988, V. 13: 12~20.
- [10] Beisel J N, Usseglio P P, Moreteau J C. The spatial heterogeneity of a river bottom: a key factor determining macroinvertebrate communities. *Assessing the Ecological Integrity of Running Waters*. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2000. 163~171.
- [11] Karr J R. Biological integrity: a long neglected aspect of water resource management. *Ecol. Appl.*, 1991, 1: 66~84.
- [12] Hughes R M, Oberdoff T. Applications of IBI concepts and metrics to waters outside the United States. In: Semon T P ed. *Assessing the Sustainability and Biological Integrity of Water Resourcea Using Fish Communities*. CRC Press, Boca Raton, 1999. 79~93.
- [13] Fausch K D, Lyons J, Karr J R, et al. Fish communities as indicators of environmental degradation. In: Adams S M ed, *Biological Indicator of Stress in Fish*. American Fisheries Society Symposium, Bethesda, MD 8, 1990. 123~144.
- [14] Karr J R, Fausch K D, Angermeier P L, et al. Assessing biological integrity in running waters: a method and its rationale. *Illinois Natural History Survey*. Special Publication 5, Champaign, 1986. 28.
- [15] Liang Z X, Zhou C S, Huang H N. Composition and Seasonal Changes of Fishes in Lake Wuhu Connected with Changjiang River. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1981, 12(5): 468~478.
- [16] Chang J B, Cao W X. Fishery Significance of the River-Communicating Lake and Strategies for the Management of Fish Resources. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 1999, 8(2): 153~157.
- [17] Chang J B, Zhang G H, Xu Y G. Fish and Fisheries. Chapter 8. In: Chen Y Y, Xu Y G eds. *Hydrobiology and Resource Exploitation in Honghu Lake*. Beijing: Science Press, 1995. 106~128.
- [18] Chang J B, Deng Z L, Zhang G H, et al. "Filling Water and Accommodating Fry" in Honghu Lake: Possibility and Ecological Benefits. In: Chen Y Y, Xu Y G ed. *Hydrobiology and Resource Exploitation in Honghu Lake*. Beijing: Science Press, 1995. 220~229.
- [19] Huang G T, Xie P, Liu H Q. Changes of the fish fauna and the analysis of fish yield in the Donghu Lake. In: Liu J K ed. *Ecological Research of Donghu Lake*. Beijing: Science Press, 1995. 328~342.
- [20] Fang R L, Zhang T L, Liu H Q. Characteristics of fish fauna of Baoan Lake and its fishery utilization. *Resources, Environment and Fishery Ecological Management of Macrophytic Lakes*. Beijing: Science Press, 1995. 205~209.

- [21] Liu L H, He L, Hu J X, *et al.* Preliminary Study on the effects of “filling water and accommodating fry” in Sanhulianjiang Reservoir. In: Chen Y Y, Xu Y G ed. *Hydrobiology and Resource Exploitation in Honghu Lake*. Beijing: Science Press, 1995. 232~240.
- [22] Zhu S Q ed. *Synopsis of Freshwater Fishes of China*. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Publishing House, 1995.
- [23] Hubei Institute of Hydrobiology. *The Fishes of Yangtze River*. Beijing: Science Press, 1976.
- [24] Yang Y O, Gan Y, Yao F. Fuzzy Cluster Analysis of the Fishes in Yangtze River. *Journal of Hubei Agricultural College*, 1997, 17(4): 270~273.
- [25] Kesminas V, Virbickas T. Application of an adapted index of biotic integrity to rivers of Lithuania. *Assessing the Ecological Integrity of Running Waters*. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2000. 257~270.
- [26] James R G, Thomas P S. Variation in a great river index of biotic integrity over a 20-year period. *Assessing the Ecological Integrity of Running Waters*. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2000. 291~303.
- [27] Seegert G. The development, use, and misuse of biocriteria with an emphasis on the index of biotic integrity. *Environmental Science & Policy*. 2000, (3). S51~58.
- [28] Kamler E. Early life history of fish. *An Energetics Approach*. Chapman and Hall, 1992. 267.
- [29] Keckeis H, Schiemer F. Food consumption and growth of larvae and juveniles of three cyprinid species at different food levels. *Environmental Biology of Fishes*. 1992. 33: 33~45.
- [30] Schiemer F, Keckeis H, Kamler E. The early life stages of riverine fish: ecophysiological and environmental bottlenecks. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part A*, 2003, 133: 439~449.

参考文献:

- [15] 梁秩荣,周春生,黄鹤年. 长江中游通江湖泊-五湖的鱼类组成及季节变化. *海洋与湖沼*, 1981, 12(5): 468~478.
- [16] 常剑波,曹文宣. 通江湖泊的渔业意义及其资源管理对策. *长江流域资源与环境*, 1999, 8(2): 153~157.
- [17] 常剑波,张国华,许蕴珩. 鱼类和渔业. 第八章. 见:陈宜瑜,许蕴珩. 洪湖水生生物及其资源开发. 北京:科学出版社, 1995. 106~128.
- [18] 常剑波,邓中舜,张国华,等. 洪湖灌江纳苗的可行性及效益评价. 见:陈宜瑜,等. 洪湖水生生物及其资源开发. 北京:科学出版社, 1995. 220~229.
- [19] 黄根田,谢平,刘伙泉. 东湖鱼类区系的改变和渔获物的分析. 见:刘建康主编. 东湖生态学研究(二),中国科学院东湖生态系统试验站论文集, 北京:科学出版社, 1990. 328~342.
- [20] 方榕乐,张堂林,刘伙泉. 保安湖鱼类区系结构特点及其渔业利用. 草型湖泊资源,环境与渔业生态学管理. 北京:科学出版社, 1995. 205~209.
- [21] 刘乐和,何力,胡菊香,等. 三胡连江水库灌江纳苗效果的初步研究. 见:陈宜瑜,许蕴珩. 洪湖水生生物及其资源开发. 北京:科学出版社, 1995. 232~240.
- [22] 朱松泉. 中国淡水鱼类检索. 南京:江苏科学技术出版社, 1995.
- [23] 湖北省水生生物研究所著,长江鱼类. 北京:科学出版社, 1976.
- [24] 杨严鸥,甘永成,姚峰. 长江水系鱼类分布的模糊聚类分析. *湖北农学院学报*, 1997, 17(4): 270~273.