

中国百种杰出学术期刊
中国精品科技期刊
中国科协优秀期刊
中国科学院优秀科技期刊
新中国 60 年有影响力的期刊
国家期刊奖

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

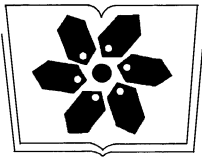
(Shengtai Xuebao)

第 30 卷 第 21 期
Vol.30 No.21
2010



中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 30 卷 第 21 期 2010 年 11 月 (半月刊)

目 次

棉铃虫幼虫对人类呈味物质的取食反应·····	李为争,付国需,王英慧,等 (5709)
西藏拉萨机场周边风沙源空间分布及演变趋势·····	李海东,沈渭寿,邹长新,等 (5716)
新疆沙湾冷泉沉积物的细菌系统发育多样性·····	曾 军,杨红梅,徐建华,等 (5728)
应用鱼类完整性评价体系评价辽河流域健康·····	裴雪姣,牛翠娟,高 欣,等 (5736)
不同海拔天山云杉叶功能性状及其与土壤因子的关系·····	张慧文,马剑英,孙 伟,等 (5747)
滨河湿地不同植被对农业非点源氮污染的控制效果·····	徐华山,赵同谦,贺玉晓,等 (5759)
内蒙古温带荒漠草原能量平衡特征及其驱动因子·····	阳伏林,周广胜 (5769)
南北样带温带区栎属树种功能性状对气象因子的响应·····	冯秋红,史作民,董莉莉,等 (5781)
伏牛山自然保护区物种多样性分布格局·····	卢训令,胡 楠,丁圣彦,等 (5790)
减弱 UV-B 辐射对烟草形态、光合及生理生化特性的影响 ·····	陈宗瑜,钟 楚,王 毅,等 (5799)
川西亚高山针阔混交林乔木层生物量、生产力随海拔梯度的变化 ·····	刘彦春,张远东,刘世荣,等 (5810)
三峡库区消落带水淹初期地上植被与土壤种子库的关系·····	王晓荣,程瑞梅,肖文发,等 (5821)
洞庭湖西岸区防护林土壤和植物营养元素含量特征·····	柏方敏,田大伦,方 晰,等 (5832)
择伐对阔叶红松林主要树种径向与纵向生长的影响·····	蒋子涵,金光泽 (5843)
野鸭湖典型湿地植物光谱特征·····	刘 克,赵文吉,郭逍宇,等 (5853)
三种线性模型在杉木与马尾松地位指数相关关系研究中的比较·····	朱光玉,吕 勇,林 辉,等 (5862)
不同干扰类型下羊草种群的空间格局·····	陈宝瑞,杨桂霞,张宏斌,等 (5868)
基于 SWAT 模型的祁连山区最佳水源涵养植被模式研究——以石羊河上游杂木河流域为例 ·····	王军德,李元红,李赞堂,等 (5875)
2D 与 3D 景观指数测定山区植被景观格局变化对比分析 ·····	张志明,罗亲普,王文礼,等 (5886)
基于投影寻踪的珠江三角洲景观生态安全评价 ·····	高 杨,黄华梅,吴志峰 (5894)
海峡两岸 16 个沿海城市生态系统功能比较 ·····	张小飞,王如松,李 锋,等 (5904)
同安湾围(填)海生态系统服务损害的货币化预测评估 ·····	王 萱,陈伟琪,张璐平,等 (5914)
太阳辐射对玉米农田土壤呼吸作用的影响 ·····	孙敬松,周广胜,韩广轩 (5925)
水分胁迫下 AM 真菌对沙打旺生长和抗旱性的影响·····	郭辉娟,贺学礼 (5933)
宁夏南部旱区坡地不同粮草带比间作种植模式比较·····	路海东,贾志宽,杨宝平,等 (5941)
节节草生长对铜尾矿砂重金属形态转化和土壤酶活性的影响·····	李 影,陈明林 (5949)
自然植物群落形成过程中铜尾矿废弃地氮素组分的变化 ·····	安宗胜,詹 婧,孙庆业 (5958)
硅介导的水稻对二化螟幼虫钻蛀行为的影响 ·····	韩永强,刘 川,侯茂林 (5967)
饥饿对转基因鲤与野生鲤生长竞争和性腺发育的影响·····	刘春雷,常玉梅,梁利群,等 (5975)
专论与综述	
河流水质的景观组分阈值研究进展 ·····	刘珍环,李 猷,彭 建 (5983)
研究简报	
长期模拟增温对岷江冷杉幼苗生长与生物量分配的影响 ·····	杨 兵,王进闯,张远彬 (5994)
环境因素对长额斗蟋翅型分化的影响 ·····	曾 杨,朱道弘,赵吕权 (6001)

应用鱼类完整性评价体系评价辽河流域健康

裴雪姣¹, 牛翠娟^{1,*}, 高欣¹, 徐琛²

(1. 教育部生物多样性与生态工程重点实验室, 北京师范大学生命科学学院, 北京 100875; 2. 四川大学吴玉章学院, 成都 610207)

摘要: 根据 2009 年 8 月辽河流域 33 个站点采集的鱼类数据(参照点 8 个, 观测点 25 个), 通过参数指标值分布范围、相关关系和判别能力分析, 从 23 个候选指标中筛选出了辽河流域的鱼类完整性指数(F-IBI)构成指标体系。该体系包括鱼类总种类数、Shannon-Wiener 多样性指数、中上层鱼类百分比、底层鱼类百分比、鱼类个体总数、杂食性鱼类百分比、耐受性鱼类百分比、敏感性鱼类百分比和产粘性卵鱼类百分比共 9 个生物参数。分别采用 1、3、5 赋值法和比值法计算各站点的 IBI 分值, 并根据参照点 IBI 分值的 25% 分位数值确定健康等级标准, 对小于 25% 分位数值值的分布范围进行 3 等分, 提出了辽河流域河流鱼类完整性评价标准, 分为健康、一般、差、较差 4 个等级。两种方法评价结果虽不完全相同, 但趋势基本一致。Pearson 相关分析表明 IBI 值与生境状况、水质状况、栖息地环境质量显著相关, 其中与海拔、栖息地评分呈显著正相关, 与 COD_{Cr}、氯化物、总溶解颗粒物、含沙量、硬度、电导率呈显著负相关。

关键词: 生态系统健康; 生物完整性指数(IBI); 鱼类完整性指数(F-IBI); 辽河流域

The ecological health assessment of Liao River Basin, China, based on biotic integrity index of fish

PEI Xuejiao¹, NIU Cuijuan^{1,*}, GAO Xin¹, XU Chen²

1 Ministry of Education Key Laboratory for Biodiversity Science and Ecological Engineering, College of Life Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

2 Wu Yu-zhang College, Sichuan University, Chengdu 610207, China

Abstract: Fish samples were collected from 33 sampling sites (8 reference sites and 25 observed sites) in Liao River Basin, China, during August, 2009. Twenty three candidate metrics including species richness, Shannon-Wiener diversity index, % of water column species, % of *Cobitidae* species, % of *Cypriniformes* species, % of *Perciformes* species, % of *Cyprinidae* species, % of benthic individuals, number of total individuals, % of omnivorous individuals, % of insectivorous individuals, % of phytophagous individuals, % of carnivorous individuals, % of tolerant individuals, % of intolerant individuals, % of viscid eggs spawning species, % of drift eggs spawning species, % of epipelagic eggs spawning species, % of demersal eggs spawning species, % of special spawning mode species, % of nesting and guarding eggs species, % abnormal individuals, were evaluated stepwise by distributing range analysis, discriminatory power analysis and Pearson's correlation analysis. Basing these analysis we obtained 9 metrics to produce IBI evaluation. The traditional step method and ration scoring method were used separately to calculate the value of each metric and IBI. Based on the 25% percentile of IBI value in reference sites, the criteria of health ranking was determined. The distribution range below 25% percentile was divided into 3 quarters, forming 4 grades: health, fair, poor and very poor. In the follow, Pearson's correlation analysis was used to reveal the correlation between IBI scores and environment factors. Results were shown as follows:

Ten metrics had the highest discriminatory power between reference sites and observed sites, which were species richness, Shannon-Wiener diversity index, % of water column species, % of *Cobitidae* species, % of benthic individuals,

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2008ZX07526-001)

收稿日期: 2010-04-09; **修订日期:** 2010-07-09

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: cjniu@bnu.edu.cn

number of total individuals, % of omnivorous individuals, % of tolerant individuals, % of intolerant individuals, % of viscid ovum individuals.

Pearson's correlation analysis was performed on all data from 33 sites for the above ten metrics. If metrics that measured the same criterion were correlated significantly ($|R| > 0.9$), they should not be used together to determine impairment. Therefore, the % of *Cobitidae* species index was rejected because of its distinct correlation with % of benthic individuals index, considering the widely use of the latter in most references.

The results of the traditional step method showed 3 healthy sites, 10 fair sites, 15 poor sites and 4 very poor sites, while, ration scoring method showed 6 healthy sites, 6 fair sites, 14 poor sites and 6 very poor sites. Though the results of the two methods were not exactly the same, they were not in contradiction, and the ultimate trend was consistent. They showed the condition of the water in most part of Liao River Basin was poor or very poor.

The Pearson's correlation analysis showed that the IBI was significantly positive correlated with the elevation, habitat value, and significantly negative correlated with COD_{Cr} , chloride, total dissolved granule, sand contents, hardness. The results indicate that that ecosystem health of Liao River Basin was strongly related to chemical pollution, water loss and soil erosion and habitat destruction, which should be paid more attention.

Key Words: ecosystem health; index of biotic integrity (IBI); index of biotic integrity of fish community (F-IBI); Liao River Basin

生物完整性指数(index of biotic integrity, IBI)是指可定量描述环境状况特别是人为干扰与生物特性之间的关系的一组敏感性生物指数^[1-3]。IBI 评价体系是通过对生态系统中某一生物类群所构成的群落(如鱼类)的物种组成、多样性及功能结构方面进行分析,将其和相应的标准体系比较,然后根据指标评估所观测生态系统的健康状况^[4]。鱼类作为生物完整性研究最早应用的对象,在河流监测评价中具有很多优点,目前为止国际众多学者已经对利用鱼类进行生物完整性评价进行了广泛的研究、论证与应用^[1,5-6]。利用鱼类完整性指数(F-IBI)评价体系进行河流健康评价对维护河流生态系统的健康、可持续管理和利用具有重要意义^[7-9]。我国利用 F-IBI 体系对河流健康评价却鲜见报道,仅郑海涛曾对怒江中上游鱼类完整性进行过研究^[4]。故本文应用 F-IBI 体系对辽河流域的健康进行评价分析,希望以此为例为我国河流鱼类完整性评价指标和方法的建立提供参考,且为辽河流域健康的维护及管理提供基础数据。

1 实验方法

1.1 研究区域

辽河流域(东经 116°30'—125°47', 北纬 38°43'—45°)位于我国东北地区南部,包括吉林、辽宁、河北省和内蒙古自治区的部分市域,共计 4 省(区)、16 市(地、盟)和 65 个县(旗)。全流域面积 $21.9 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。流域地貌类型山地占 48.2%, 丘陵占 21.5%, 平原占 24.3%, 沙丘占 6%。流域由 2 个独立水系所组成:一为东、西辽河,于福德店汇流后为辽河干流,经双台子河由盘山入海;另一为浑河、太子河于三岔河汇合后经大辽河由营口入海。辽河流域是我国东北地区重要的水源来源之一,涉及多个省市及自治区,但近些年,辽河流域,特别是辽宁省境内的经济增长对水资源的需求量已大大超过生态更新量,造成了流域水体的严重污染,70% 以上的河流断面为 V 类—劣 V 类水质^[10]。

本次对整个辽河流域的调查发现,辽河西北区大部分河段已经长期干旱断流。针对鱼类生物完整性评价的特点,本次选择进行完整性研究的区域不包括辽西北缺水,故进行完整性研究的采样站点基本分布于辽河流域中、南、东部,共计 33 个(图 1)。

1.2 研究方法

1.2.1 鱼类采样方法

2009 年 8 月,对辽河流域鱼类采样调查。鱼类的采集主要是通过自主采样法,主要渔具为:刺网、电鱼器

等。在采样点上下游共计 400m 长河段范围内进行样品的采集。布网时间及电鱼时间各站点均控制在 60min。采样用具的选择主要根据河流深度、宽度及地形来确定。渔获物种类鉴定依据《辽宁鱼类志》、《中国动物志硬骨鱼纲》，同时记录采样站点经纬度、海拔、日期、渔具及规格、鱼名、数量、健康状况等。

1.2.2 生境状况判定及水体理化性质的测定

生境栖息地质量的评价,借鉴美国 EPA 快速生物评价手册中的记录与评价方法,并结合实际情况进行修改,最终选择的记录指标主要包括天气状况、流域特征、河岸带、底泥基质类型、水质情况等;对栖息地状况的打分,采用的指标主要包括底质、生境复杂性、水质情况、人类活动强度等 10 个方面分 4 个等级打分。

同期进行水体理化性质的测定。温度、电导率、盐度、总溶解颗粒物、pH 及透明度用 Hach 水质分析仪 (sension156) 和透明度盘现场测定,溶解氧用碘量法测定,另用样品瓶采集 2L 样点的水样,置于低温保温箱中,在 48h 内带回实验室,根据《水和废水监测方法》(第 4 版)进行分析,项目包括悬浮物、氨氮、亚硝酸态氮、硝酸态氮、总氮、活性磷、总磷、碱度、硬度、生物需氧量、化学耗氧量等。

1.3 数据处理

1.3.1 参照点位的选择

参考相关文献^[6,11-12],本研究参照点位的选择利用了 CCA 排序分析和 Twinspan 分类方法(PCORD5.0),同时兼顾了各站点水体理化数据、栖息地质量评分及对各水系、生境的代表性等因素。

1.3.2 IBI 指标构建

综合参考目前有关 IBI 的研究报道^[4,1,13-14],结合本次调查鱼类的实际情况,首先选择了分属于 5 类属性的对环境变化较为敏感的 23 个指标为候选指标(表 1)。然后对此 23 个候选指标进行分布范围、判别能力和相关性分析的筛选。分布范围的筛选指若某指标在超过 95% 的样点得分均为零,则放弃该指标。判别能力

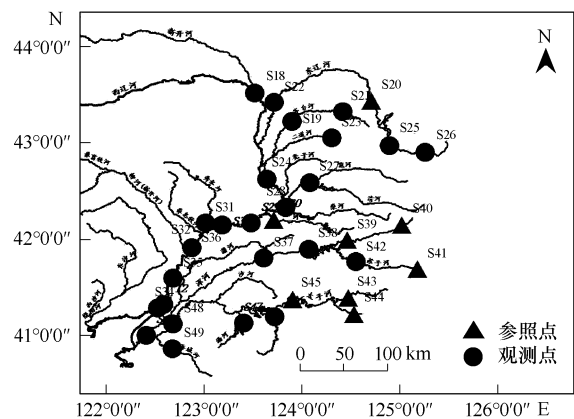


图 1 辽河流域 33 个采样站点分布

Fig. 1 Distribution of 33 sampling sites in Liao River Basin

表 1 IBI 候选指标列表

Table 1 List of IBI candidate metrics for the Liao River Basin

属性归类 Attribute	候选参数指标 Candidate metrics	参数缩写 Abbreviation	属性归类 Attribute	候选参数指标 Candidate metrics	参数缩写 Abbreviation	
种类组成与丰度 Composition and richness	鱼类总种类数	M1	耐受性 Tolerance 繁殖共位群 Reproductive guild	昆虫食性鱼类百分比	M13	
	Shannon-Wiener 多样性指数	M2		敏感性鱼类百分比	M15	
	耐受性鱼类百分比	M14		产漂浮性卵鱼类百分比	M17	
	鲤形目鱼类种类数	M3		产沉性卵鱼类百分比	M18	
	鲈形目鱼类种类数	M4		产粘性卵鱼类百分比	M19	
	产漂流性卵鱼类百分比	M16		特殊产卵方式鱼类百分比	M20	
	鲤科鱼类种类数	M5		筑巢护卵行为鱼类百分比	M21	
	鳅科鱼类种类数	M6		鱼类数量与健康状况 Quantity and health	鱼类个体总数	M22
	中上层鱼类百分比	M7			畸形、患病鱼类百分比	M23
	底层鱼类百分比	M8				
中下层鱼类百分比	M9					
营养结构 Trophic guild	肉食性鱼类百分比	M10				
	杂食性鱼类百分比	M11				
	植食性鱼类百分比	M12				

的筛选是比较参照点位和观测点位在 25%—75% 分位数范围内重叠的情况,利用箱体图进行判别。相关性分析的筛选是对通过判别能力筛选的各指标进行 Pearson 相关性检验 (spss18.0),若 $|R| < 0.9$ 则通过检验,若 $|R| > 0.9$ 则两个指标中取其一即可^[12,15-17]。

1.3.3 IBI 指标的计算及评价标准

对生物学指数进行记分的目的是统一评价量纲^[12]。目前 IBI 研究中应用较多的有传统的 1、3、5 赋值法^[1,5,18]、连续赋值法^[18-19],及比值法^[20]。本文采用 1、3、5 赋值法及比值法两种方法分别进行辽河流域鱼类完整性的评分计算。

(1) 1、3、5 赋值法

这是由 Karr 最先提出的^[1,5],目前应用最多的评分方法。其对各参数的标准化方法为:对各指标测得的实际值在最低到最高范围内三等分,分为 3 个区域,最好的等级区域记为 5,最差的等级区域记为 1,中间的为 3。每个站点 IBI 值即为该点各参数标准化记分后的值之和。

(2) 比值法

比值法中各参数的标准化指数模式分两种情况。

①随干扰增强而值减小的指标,其标准化指数模式为:

$$P_{ij} = O_{ij}/S_{95} \times 100$$

式中, P_{ij} 和 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观测值; S_{95} 为第 i 个指标的标准化阈值,取全部采样点中第 i 个指标 95th 百分位的原始观测值; $i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$ 。

②随干扰增强而值增大的指标,其标准化指数模式为:

$$P_{ij} = (\max O_{ij} - O_{ij}) / (\max O_{ij} - S_{5}) \times 100$$

式中, $\max O_{ij}$ 为第 i 个指标在 n 个采样点中的最大值; S_{5} 为第 i 个指标的标准化阈值,取全部采样点中第 i 个指标 5th 百分位的原始观测值; $i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$ 。

各站点的 IBI 值是该点各参数标准化指数的均值。即:

$$I_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m P_{ij}$$

式中, I_j 为第 j 个采样点的 IBI 值。

(3) IBI 指标体系的评价标准

以参照点位 IBI 值分布的 25% 分位数作为健康评价的标准^[21],如果站点的 IBI 分值大于 25% 分位数值,则表示该站点受到的干扰很小,是健康的;对小于 25% 分位数值分布的范围,进行 3 等分,分别代表不同的健康程度。据上述方法,就可以确定出健康、一般、较差、极差 4 个等级的划分标准。

2 结果与分析

本次调查,共采集到鱼类标本 2090 尾,25 种,分属 4 目 7 科。比较珍稀的鱼类有黄鱼幼鱼、鲢、怀头鲮和黄颡;数量较多的有鲫鱼、洛氏鲮、彩鳞鲃等,而鲫鱼、蟹、泥鳅等种类则分布较广泛(表 2)。根据本次调查中水质与鱼类种类出现情况,参考《辽宁鱼类志》、《中国动物志硬骨鱼纲》中鱼类生物习性描述及相关文献^[22],在完整性评价计算中,将鲫鱼、蟹、泥鳅、银色银鮡记为耐污种,洛氏鲮、北方花鳅、沙塘鳢记为敏感种。

2.1 参照点位的选择

图 2 为参考的 CCA 排序分析及 Twinspan 分类结果,由图可知生境评分、海拔、COD、总氮含量及底质含沙量对鱼类群落分布影响最大,S20、S39、S41、S43、S44、S45 水环境情况较好且分属同一类中,而 S20、S30、S39、S41、S43、S44、S45 与其他点位相比生境评分较高 (>75),COD、含沙量等较低 (COD < 15 ,含沙量 $< 15\%$)。最终综合分析所选取的参照点位为 S20、S30、S39、S40、S41、S43、S44 和 S45。

2.2 参数指标筛选

各候选指标都通过了分布范围的筛选。判别能力的筛选中 M1、M2、M6、M7、M8、M11、M14、M15、M19 及

M22, 10 个指标在参照点与观测点间有显著差异(图 3)。对此 10 个指标进行 Pearson 相关性检验(表 3), 鳅科鱼类种类数指标与底层鱼类百分比指标有显著的相关性, 考虑到底层鱼类百分比在鱼类 IBI 研究中的应用更为广泛, 故放弃鳅科鱼类种类数这一指标, 最终确定了 9 个为建立 IBI 指标体系的参数指标(表 4)。

表 2 辽河流域采样鱼类种类与丰度

Table 2 Categories for freshwater fishes caught in sampling sites in Liao River Basin

目 Order	科 Family	种 Species	学名 Latin name	数量/尾 Number	食性 Food habit	栖息水层 Water location
鲑形目	银鱼科	有明银鱼	<i>Salanx cuvier</i>	5	杂食性	上层
鲤形目	鲤科	宽鳍鱮	<i>Zacco platypus</i>	20	杂食性	中上层
鲤形目	鲤科	洛氏鲮	<i>Phoxinus lagowskii</i>	256	昆虫食性	中上层
鲤形目	鲤科	东北雅罗鱼	<i>Leuciscus waleckii</i>	16	杂食性	中上层
鲤形目	鲤科	马口鱼	<i>Pseudogobio uncirostris bidens</i>	9	肉食性	中上层
鲤形目	鲤科	鲮	<i>Hemiculter leucisculus</i>	143	杂食性	中上层
鲤形目	鲤科	彩鲫	<i>Rhodeus lighti</i>	581	植食性	中上层
鲤形目	鲤科	条纹似白鲃	<i>Paraleucogobio strigatus</i>	1	杂食性	中下层
鲤形目	鲤科	麦穗鱼	<i>Pseudorasbora parva</i>	88	杂食性	中上层
鲤形目	鲤科	银色银鲃	<i>Squalidus argentatus</i>	60	杂食性	中下层
鲤形目	鲤科	似鲃	<i>Pseudogobio vaillanti</i>	2	杂食性	底层
鲤形目	鲤科	棒花鱼	<i>Abbotina rivularis</i>	50	杂食性	中下层
鲤形目	鲤科	辽宁棒花	<i>Abbotina liaoningensis</i>	37	杂食性	中下层
鲤形目	鲤科	长蛇鲃	<i>Saurogobio dumerili</i>	32	杂食性	中下层
鲤形目	鲤科	鲫鱼	<i>Carassius auratus</i>	616	杂食性	中下层
鲤形目	鳅科	北方条鳅	<i>Nemachilus nudus</i>	55	杂食性	底层
鲤形目	鳅科	纵纹北鳅	<i>Lefua Herzenstein</i>	3	杂食性	底层
鲤形目	鳅科	北方花鳅	<i>Cobitis granoei</i>	28	植食性	底层
鲤形目	鳅科	泥鳅	<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	48	杂食性	底层
鲶形目	鲶科	黄颡	<i>Pelteobafus fulvidraco</i>	3	杂食性	底层
鲶形目	鲶科	鲶	<i>Silurus asotus</i>	2	肉食性	底层
鲶形目	鲶科	怀头鲶	<i>Silurus soldatovi</i>	3	肉食性	底层
鲈形目	塘鳢科	沙塘鳢	<i>Odontobutis obscura</i>	26	肉食性	底层
鲈形目	塘鳢科	黄鱼幼	<i>Hypseleotris swinhonis</i>	1	杂食性	底层
鲈形目	鰕虎鱼科	褐节鰕虎鱼	<i>Ctenogobius brunneus</i>	5	杂食性	底层

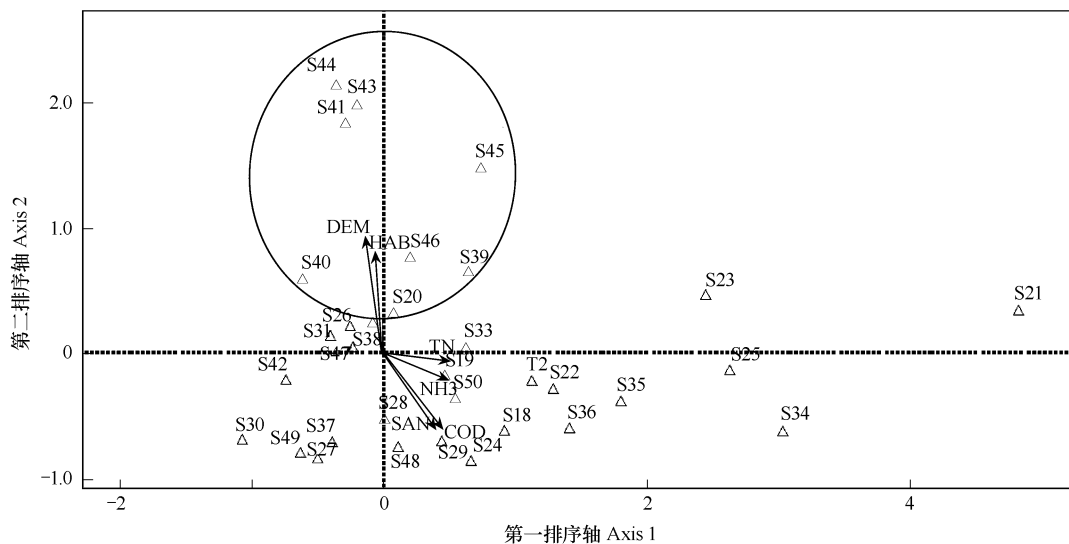


图 2 辽河流域站点 CCA 分析结果, 聚类方法为 Twinspan 分析(PCORD5.0)

Fig. 2 Result of CCA analysis for sampling sites of Liao River Basin, using Twinspan cluster analysis(PCORD5.0)

注: DEM 表示海拔高度, HAB 表示栖息地评分, NH3 表示氨氮含量, SAN 表示底质含沙量, COD 表示化学需氧量, TN 表示总氮含量, 圆圈内的点为 Twinspan 分析一级分类得到的同一类点

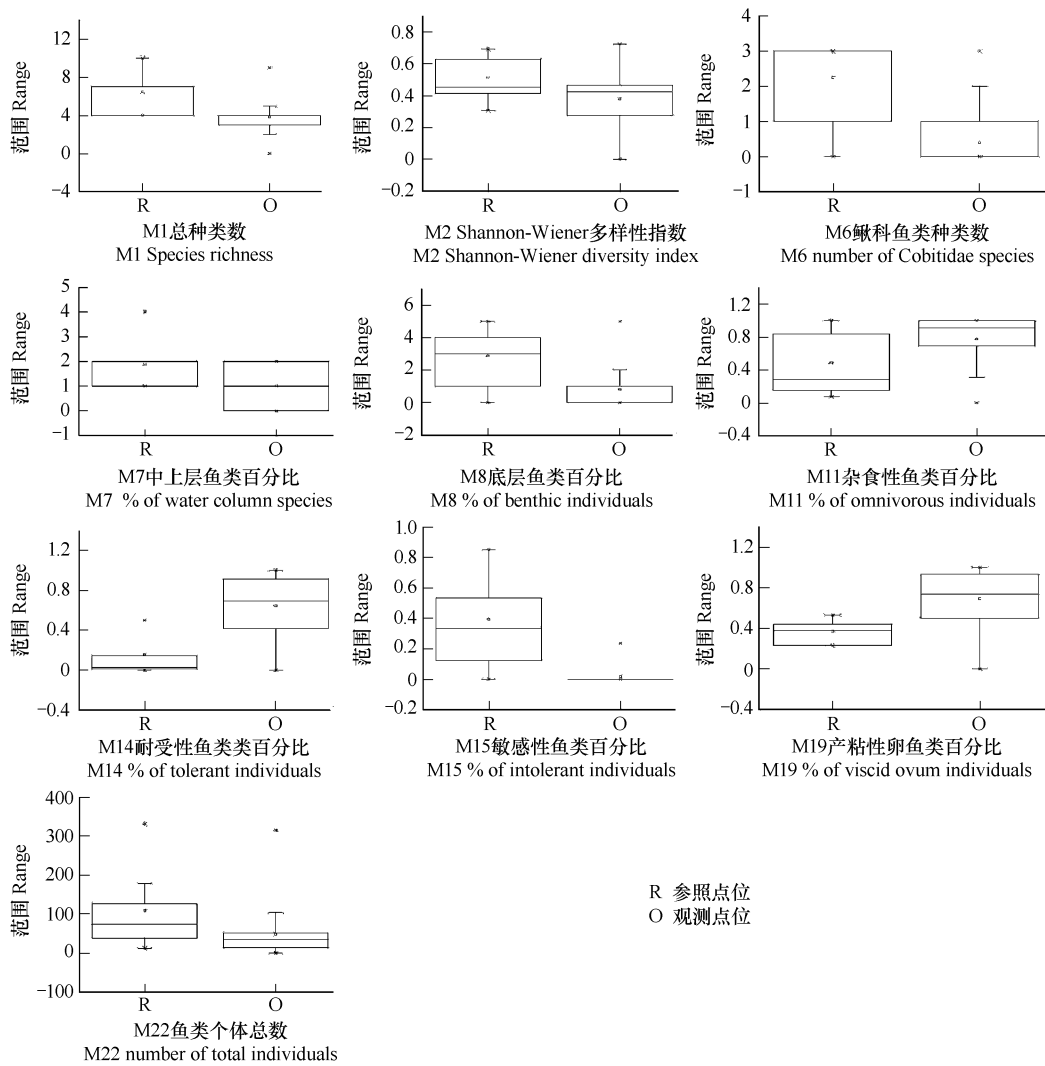


图 3 通过判别力筛选的 10 个候选指标在参照点和观察点的箱体图

Fig. 3 Box-plots of 10 candidate metrics which accepted by the discriminatory power analysis between reference sites and observed sites

表 3 10 个候选指标间的 Pearson 相关性系数

Table 3 The correlation coefficient between ten candidate biological metrics

	M1	M2	M6	M7	M8	M11	M14	M15	M19	M22
M1	1									
M2	0.783	1								
M6	0.680	0.568	1							
M7	0.600	0.407	0.202	1						
M8	0.774	0.604	0.929	0.195	1					
M11	-0.041	0.154	-0.174	-0.415	-0.099	1				
M14	-0.269	-0.174	-0.486	-0.329	-0.361	0.793	1			
M15	0.377	0.212	0.720	0.202	0.647	-0.435	-0.535	1		
M19	-0.014	0.142	-0.141	-0.231	-0.021	0.699	0.686	-0.311	1	
M22	0.351	0.119	0.064	0.679	0.032	-0.344	-0.275	0.113	-0.259	1

2.3 评分及评价

各站点 IBI 参数的评分计算见表 5,辽河流域鱼类完整性评价标准见表 6。依据表 5 和表 6 的数据结果,对辽河流域 33 个站点的鱼类完整性状况的评价结果如表 7 所示。

表 4 9 个参数指标及其对干扰的响应

Table 4 Nine metrics and their response to human disturbance

属性归类 Attribute	参数指标 Metrics	参数缩写 Abbreviation	对干扰的响应 Response to disturbances
种类组成与丰度 Composition and richness	1 鱼类总种类数	C1	下降
	2 Shannon-Wiener 多样性指数	C2	下降
	3 中上层鱼类百分比	C3	下降
	4 底层鱼类百分比	C4	下降
营养结构 Trophic guild	5 杂食性鱼类百分比	C5	上升
	6 耐受性鱼类百分比	C6	上升
耐受性 Tolerance	7 敏感性鱼类百分比	C7	下降
繁殖共位群 Reproductive guild	8 产粘性卵鱼类百分比	C8	上升
鱼类数量与健康状况 Quantity and health	9 鱼类个体总数	C9	下降

表 5 辽河流域 IBI 各参数指标的评分计算

Table 5 IBI metric scoring criteria for Liao River Basin

	5	3	1	最大值 Max.	最小值 Min.	95% 中位数 95% median	5% 中位数 5% median
C1	>7	5—7	<5	10	2	9	2
C2	>1.22	0.76—1.22	<0.76	1.67	0.304	1.54	0.388
C3	>3	2—3	<2	4	0	2	0
C4	>3	2—3	<2	5	0	4.4	0
C5	<38	38—69	>69	100	7.31	100	11.9
C6	<34	34—67	>67	100	1.57	99.4	0.944
C7	>57	28—57	<28	85	0	63.6	0
C8	<44	44—72	>72	100	16.1	100	20.2
C9	>222	112—222	<112	332	3	233	3.6

表 6 辽河流域鱼类完整性评价标准

Table 6 Assessment criteria for biological integrity of fish in Liao River Basin

	健康(H) Healthy	一般(F) Fair	较差(P) Poor	极差(V) Very poor
1、3、5 赋值法 Step method	>27	>18—27	>9—18	≤9
比值法 Ration scoring method	>65.821	>43.881—65.821	>21.940—43.881	≤21.940

表 7 辽河流域各站点 IBI 评价结果

Table 7 IBI results for each sampling sites in Liao River Basin

点位 Sites	地点 Location	经度/(°) Longitude	纬度/(°) Latitude	I	S	健康等级 I Health grade I	健康等级 S Health grade S
S18	吉林省四平市双辽县	123.521	43.522	8.624	9	V	V
S19	辽宁省铁岭市昌图县	123.9	43.224	15.587	13	V	P
S20	吉林省四平市公主岭县	124.709	43.438	44.257	19	P	P
S21	吉林省四平市梨树县	124.421	43.326	16.827	11	V	P
S22	吉林省四平市双辽县	123.718	43.422	11.732	9	V	V
S23	辽宁省铁岭市昌图县	124.309	43.052	-	-	N	N
S24	吉林省四平市双辽县	123.59	42.431	36.278	17	P	P
S25	辽宁省辽源市东辽县	124.899	42.975	26.042	13	P	P
S26	辽宁省辽源市东辽县	125.013	42.932	32.960	21	P	F
S27	辽宁省铁岭市清河区	124.085	42.59	54.335	27	F	F
S28	辽宁省铁岭市铁岭县	123.836	42.33	33.782	11	P	P
S29	辽宁省沈阳市沈北新区县	129.485	42.184	47.908	21	F	F

续表

点位 Sites	地点 Location	经度/(°) Longitude	纬度/(°) Latitude	I	S	健康等级 I Health grade I	健康等级 S Health grade S
S30	辽宁省铁岭市凡河县	123.744	42.081	83.571	33	H	H
S31	辽宁省沈阳市公主屯县	123.016	42.169	34.493	17	P	P
S33	辽宁省沈阳市蛇山子县	123.191	42.146	14.169	9	V	V
S34	辽宁省鞍山市	122.532	41.284	26.494	13	P	P
S35	辽宁省沈阳市新民县	122.686	41.596	25.265	11	P	P
S36	辽宁省沈阳市新民县	122.88	41.911	27.453	11	P	P
S37	辽宁省抚顺市望花县	123.777	41.862	53.741	23	F	F
S38	辽宁省抚顺市顺城县	124.071	41.895	30.544	17	P	P
S39	辽宁省抚顺市清原县	124.461	41.993	66.894	27	H	F
S40	辽宁抚顺市清原满族自治县	125.018	42.15	66.252	27	H	F
S41	辽宁省抚顺市新宾县	125.18	41.696	86.453	37	H	H
S42	辽宁省抚顺市新宾县	124.556	41.767	33.620	15	P	P
S43	辽宁省抚顺市新宾县	124.609	41.42	90.162	37	H	H
S44	辽宁省本溪市本溪县	124.56	41.177	64.557	27	F	F
S45	辽宁省本溪市偏岭县	123.904	41.38	70.302	27	H	F
S46	辽宁省本溪市桥头县	123.726	41.195	54.566	27	F	F
S47	辽宁省辽阳市张岭县	123.408	41.131	28.942	15	P	P
S48	辽宁省鞍山市海城县	122.683	41.12	40.833	15	P	P
S49	辽宁省鞍山市海城县	122.679	40.865	59.020	25	F	F
S50	辽宁省鞍山市海城县	122.412	41.004	37.293	13	P	P
T2	辽宁省鞍山市	122.588	41.323	11.368	9	V	V

注:I表示比值法 IBI 值,S表示 1、3、5 评分法 IBI 值,-表示无计算值点位,N表示无鱼点位

结果表明,用比值法,在辽河流域各站点中,6 个为健康,6 个为一般,14 个为较差,6 个为极差;用 1、3、5 赋值法,则 3 个为健康,10 个为一般,15 个为较差,4 个为极差。后者方法比前者方法在健康和极差等级中站点数量均有所减少,而增加到了中间 2 个等级中,共有 6 个站点等级不同。虽然两种方法得到结果不完全相同,但总体趋势是一致的,一般及一般以上的站点基本相同,较差及极差水平的站点也基本相同。总体上看,辽河水系支流的中上游多为一般及一般以上水平,而辽河干流从源头到下游,健康状况多为一般等级以下,其中四平市附近多为极差,浑太河从上游源头区至下游健康等级逐级变差;浑河和太子河汇合后的大辽河健康状况为较差和极差。

2.4 IBI 与环境因子之间的相关分析

分析 IBI 值(用比值法得到的 IBI 分值)与各水体理化指标及栖息地评分的相关关系,以反映水质状况、栖息地质量对河流健康的影响程度。淘汰了非正态分布的水体理化指标,采用 Pearson 相关性分析 IBI 值与 19 种水体理化指标及栖息地评分之间的相关性(表 8)。结果表明,IBI 与海拔($P=0.01$)呈显著正相关,与栖息地评分($P=0.002$)呈极显著正相关,与 COD_{cr} ($P<0.001$)、氯化物含量($P=0.001$)、含沙量($P=0.001$)、硬度($P=0.005$)、电导率($P<0.001$)、总溶解颗粒物($P<0.001$)呈极显著负相关,而与 BOD、DO、PH 等其他 12 个指标相关性不显著。

3 讨论

3.1 完整性研究的区域选择

Harris 对澳大利亚新南威尔士的河流进行了大尺度的鱼类完整性研究^[23],证明 IBI 可以用于大尺度、低生物多样性、多种生态区类型的河流的健康评价。本研究的辽河流域主要包括了辽河干流与浑太河两大水系,本次调查及相关文献^[24]都表明,虽然流域区域较大,但两者的鱼类区系相似,生境差异也较小,故本文对其进行了统一的完整性研究,且在参照点位的选取时,也兼顾了各种生境和水系,以减小不同水系对 IBI 研究

所造成的影响,增强了 IBI 研究的可行性和有效性。不足之处是本次采样站点的数目相对较少。在今后的研究中,应当增加采样点数量,并且进行长期多次的调查,使该流域 IBI 研究结果更准确。

表 8 IBI 与水理化特性等指标之间的相关性分析

Table 8 Correlation coefficient between IBI and physical-chemical parameters

化学需氧量 COD	生化需氧量 BOD	溶氧 DO	氯化物 Chloride	氨氮 Ammonia	总氮 TN	总磷 TP	硫酸盐 Sulphates	硝酸盐 Nitrates	悬浮有机 Organic suspended matter
-0.625 **	-0.248	-0.127	-0.535 **	-0.335	-0.233	-0.132	0.104	0.341	-0.274
悬浮无 Inorganic suspended matter	总溶解颗粒物 TDPM	活性磷 Phosphate	pH	硬度 Hardness	含沙 Sand content	电导率 Conductivity	海拔 Altitude	碱度 Alkalinity	栖息地评分 Habitat grade
-0.254	-0.633 **	-0.086	-0.178	-0.479 **	-0.538 **	-0.656 **	0.441 *	0.091	0.515 **

** 表示 $P < 0.01$, * 表示 $P < 0.05$

3.2 参照点位的选择

参照点位的选取原则是利用历史数据,或者选择无人干扰的河流原始河段作为参照点位,目前并没有形成统一的参照点位选取标准^[15,20,16,25]。但是在本次调查中发现辽河流域各水系均已不同程度的受到人为干扰,想要寻找原始河段是不现实的,且没有查到定量的历史数据。因此只能选择相对受干扰最小的为参照点。同类情况在国内外的研究中也比较普遍,Southerland 等根据马里兰州 2500 个溪流样点的数据,制定了参照点和干扰点的土地利用标准如公路密度、溪流渠道化的标准^[26];Peter 等则在确定参照点位标准时还加入了人口密度^[15]。Malik 在对巴基斯坦河流的鱼类完整性研究中,还利用了聚类分析及 NMDS 排序分析方法进行参照点位的选择^[6]。Didier 对 Meuse、Belgium 河流流域 IBI 的应用研究中认为,在进行包括多种生态区类型的中尺度区域的研究中选择能够代表各种生境类型的参考点位是最好的^[27]。故综合考虑,本文中参考了 CCA 排序分析及 Twinspan 分类结果、水体理化指标及栖息地评分,同时兼顾到各水系和各种生境,但由于数据资料的限制,仍未形成一套系统的定量标准,目前仅适用于本次调查的辽河流域。在今后的研究中,可搜集或通过遥感分析来获得样点周围农作物、森林、村庄分布、人口密度等的较准确数据,以及增加底泥化学指标等来综合确定样点的干扰程度,制定更加完备精确的参照点选择标准,从而提高参照样点选择的准确性。

3.3 参数指标的选取

综合国内外鱼类完整性评价的研究,参数指标的选择主要是源于 Karr^[1,5]提出的一系列指标,研究者再针对各自的研究情况进行适当的调整^[4],基本可归为 5 大类。但是对如何筛选指标并未形成统一的方法,在一些报道中,指标也并未经过一定方法的筛选^[4]。本文中,借鉴了 Barbour 的方法^[15],运用了一定的数学手段对众多的候选指标进行了筛选,使参数指标由 23 个精简为 9 个。结果表明通过这种筛选方法得到的参数能够比较有效的区分参照点位与观测点位间的差异且各参数彼此相对独立,因此是比较可行的,希望能够为我国鱼类完整性评价中指标的选择标准提供参考。

3.4 评分方法的比较

本文中对 IBI 值的计算运用了两种方法,1、3、5 赋值法与比值法。比较两种方法得到的最终结果发现,不同的站点中有 3 个是健康与一般的区别,2 个是较差和极差的差别,仅 1 个为一般与较差的区别,分析认为造成这种不同的原因可能主要是 1、3、5 赋值法 IBI 分值为各参数 1、3、5 记分的累加,分值连续性较小,间断性较大,对最高和最低等级间的区分性比较明显,而比值法的分值则连续性较强间断性较小。但是两种方法对各站点健康情况的反映趋势是一致的,情况较好的站点与差的站点基本相同,故认为这两种方法都能够反映出流域的健康状况,且两者间并不矛盾,具体哪种方法准确度较高,有待进一步研究,此外,选择哪种方法进行评价与研究对河流健康状况的期望有关。

3.5 应用 F-IBI 评价辽河流域生态系统健康

本次的研究结果显示,辽河流域鱼类群落的完整性与生境的破坏、土地利用类型及有机污染有较大关系。健康等级高的站点,多位于浑太河源头及中上游区,这些区域的底质类型以砾石为主,栖息地评分较高(多大于 80 分),周围农业及城市用地较少,有机污染较轻(COD 等指标较小);而健康等级较低的站点,多位于辽河干流及浑太河下游区域,这些区域底质泥沙含量较高(多接近 100%),栖息地评分较低,周围农业及城市用地比例较大,有机污染较重。这与国外一些报道中的结果有一致性^[28]。此外,张远等曾应用底栖动物对辽河流域进行过健康评价,在其 25 个采样点中,有 9 个为健康,8 个为亚健康,2 个为一般,3 个为较差,3 个为极差,健康点位多位于辽河支流和浑太河上游,差的点位多分布于辽河干流及浑太河下游处^[21]。与本次鱼类完整性评价结果相比,本次健康点位数量较少,一般及差点位较多,但二者健康点位、差点位分布的位置大致相同。此次应用鱼类完整性指数对辽河流域健康的评价结果是比较可行且具有一定的评判力和区分度的。同时与 2005 年底底栖动物完整性评价结果^[21]的不同,在一定程度上说明了辽河流域健康水平呈下降趋势,也说明鱼类完整性评价与底栖动物完整性评价虽然不矛盾但也不完全相同,这可能与鱼类对环境破坏的反应更为敏感有关。

本次研究仅在 1 个季节对辽河流域做了 1 次调查,因此得到的数据不能反映辽河流域各个季节的情况。S23 站点在本次采样中为无鱼点位,仅 1 次的采样也并不能确定此点位无鱼,故先不做计算。在以后的辽河流域鱼类完整性研究中,应当增加不同季节、不同年度采样调查的次数,从而进行更加准确的、季节性和年度连续变化的研究。

4 结论

(1) 鱼类完整性评价方法对河流进行健康评价可行性较高,在研究中,对参数的选择,可以运用分布范围、判别能力和相关性分析 3 个步骤的筛选来进行,从而来精简众候选指标,使得到的参数更具判别力且减少重复。在评价方法的比较中,1、3、5 赋值法与比值法都能够反映河流的健康状况,并且二者间并不冲突。

(2) 辽河流域水体的健康状况大部分处于一般及一般以下水平,浑太河源头多为健康水平。与 IBI 相关性较显著的环境因子主要有 COD、含沙量、海拔、氯化物含量、硬度、总溶解颗粒物含量等。这说明辽河流域水体的健康主要与水土流失、生境的破坏及各种水体化学污染有密切关系。

References:

- [1] Karr J R. Assessment of biotic integrity using fish communities. *Fisheries*, 1981, 6(6): 21-27.
- [2] Karr J R. Defining and assessing ecological integrity: beyond water quality. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 1993, 12:1521-1531.
- [3] Karr J R. Ecological integrity and ecological health are not the same//Schulze P ed. *Engineering Within Ecological Constraints*. Washington DC: National Academy of Engineering, National Academy Press, 1995: 97-109.
- [4] Zheng H T. Evaluating the Biotic Integrity of Up and Middle Reaches of Nujiang River Based on Fish Assemblages. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2006: 1-10.
- [5] Karr J R, Fausch K D, Angermeier P L, Yant P R, Schlosser I J. Assessing biological integrity in running waters: A method and its rationale. *Illinois Natural History Survey. Specific Publication*. 1986, 5: 1-28.
- [6] Qadir A, Malik R N. Assessment of an index of biological (IBI) to quantify the quality of two tributaries of river Chenab, Sialkot, Pakistan. *Hydrobiologia*, 2009, 621:127-153.
- [7] Cai Q H, Tang T, Liu J K. Several research hotspots in river ecology. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(9): 1573-1577.
- [8] Karr J R, Chu E W. *Restoring Life in Running Waters: Better Biological Monitoring*. Washington D C: Island Press, 1999.
- [9] Naiman R J, Bilby R E, eds. *River Ecology and Management*. New York: Springer New York Inc, 2001: 169-199.
- [10] Wang X Q, Zhang Y H. Pollution status and countermeasures of Liaohe drainage basin in Liaoning Province. *Environmental Protection Science*, 2007, 33(3): 26-28.
- [11] Peter R O, Andrew C R, Jason T M. A quantitative tool for assessing the integrity of southern coastal California streams. *Environmental Management*, 2005, 35(4): 493-504.
- [12] Wang B X, Yang L F, Hu B J. A preliminary study on the assessment of stream ecosystem health in south of Anhui Province using Benthic-Index

- of Biotic Integrity. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(6):1481-1489.
- [13] Breine J, Simoens I, Goethals P, Quataert P, Ercken D, Liefferinghe C V. and Belpaire C. A fish-based index of biotic integrity for upstream brooks in Flanders (Belgium). *Hydrobiologia*, 2004, 522: 133-148.
- [14] Bozzetti M, Schulz U H. An index of biotic integrity based on fish assemblages for subtropical streams in southern Brazil. *Hydrobiologia*, 2004, 529: 133-144.
- [15] Barbour M T, Gerritsen J, Griffith G E, Frydenborg R, Mccarron E, White J S. and Bastian M L. A framework for biological criteria for Florida streams using benthic macroinvertebrates. *Journal of the North American Benthological Society*, 1996, 15 (2): 185-211.
- [16] Maxted J R, Barbour M T, Gerritsen J, Poretti V, Primorose N, Silvia A, Penrose D. and Renfrow R. Assessment framework for mid-Atlantic coastal plain streams using benthic macroinvertebrates. *Journal of the North American Benthological Society*, 2000, 19 (1): 128-144.
- [17] Qu X D. Studies On the Spatial Temporal Variation and Biological Integrity of Macroinvertebrate in The Xiangxi River, and the Impact of Small Hydropower on Its Communities. Beijing: Graduate University of Chinese Academy of Sciences, 2006.
- [18] Ganasan V, Hughes R M. Application of an index of biological integrity (IBI) to fish assemblages of the rivers Khan and Kshipra (Madhya Pradesh). *India. Freshwater Biology*, 1998, 40: 367-383.
- [19] Minns C K, Randall R G, Cairns V W, Moore J E. An index of biotic integrity (IBI) for fish assemblages in the littoral zones of Great Lakes' Areas of Concern. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1994, 51: 1804-1822.
- [20] Blocksom K A, Kurtenbach J P, Klemm D J, Fulk F A. and Cormier S C. Development and evaluation of the lake macroinvertebrate integrity index (LM II) for New Jersey lakes and reservoirs. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2002, 77: 311-333.
- [21] Zhang Y, Xu C B, Ma X P, Zhang Z, Wang J C. Biotic integrity index and criteria of benthic organisms in Liao River. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2007, 27(6): 919-927.
- [22] Zhang S Y, Wu Y M. Common indicator fish of water quality. *Bulletin Of Biology*, 2005, 40(4): 25-27
- [23] Harris J H, Silverira R. Large-scale assessments of river health using an Index of Biotic Integrity with low-diversity fish communities. *Freshwater Biology*, 1999, 41: 235-252.
- [24] Jie Y H. Fish fauna in Liao River Basin. *Transaction of The Chinese Ichthyological Society (No.2)*, 1981:111-118.
- [25] Morley S A, Karr J R. Assessing and restoring the health of urban streams in the Puget Sound Basin. *Conservation Biology*, 2002, 16:1498-1509.
- [26] Southerland M T, Rogers G M, Kline M J, Morgan R P, Boward D M, Kazyak P F, Klauda R J, and Stranko S A. Improving biological indicators to better assess the condition of streams. *Ecological Indicator*, doi: 10.1016/j. ecolind, 2006. 08. 005.
- [27] Didier J, Estemon P K. Relationships between mesohabitats, ichthyological communities and IBI metrics adapted to a European river basin (The Meuse, Belgium). *Hydrobiologia*, 1996, 341: 133-144.
- [28] Joy M K, Death R G. Application of the index of biotic integrity methodology to New Zealand freshwater fish communities. *Environmental Management*, 2004, 34(3): 415-428.

参考文献:

- [4] 郑海涛. 怒江中上游鱼类生物完整性评价. 武汉:华中农业大学,2006:1-10.
- [7] 蔡庆华,唐涛,刘建康. 河流生态学研究中的几个热点问题. *应用生态学报*,2003,14(9):1573-1577.
- [10] 王西琴,张艳会. 辽宁省辽河流域污染现状与对策. *环境保护科学*,2007,33(3):26-28.
- [12] 王备新,杨莲芳,胡本进. 应用底栖动物完整性指数 B-IBI 评价溪流健康. *生态学报*,2005,25(6):1481-1489.
- [17] 渠晓东. 香溪河大型底栖动物时空动态、生物完整性及小水电站的影响研究. 中国科学院研究生院,2006.
- [21] 张远,徐成斌,马溪平,张铮,王俊臣. 辽河流域河流底栖动物完整性评价指标与标准. *环境科学学报*,2007,27(6):919-927.
- [22] 张世义,伍玉明. 水环境质量的常见指示鱼类. *生物学通报*, 2005,40(4):25-27.
- [24] 解玉浩. 辽河鱼类区系. *鱼类学论文集(第二辑)*,1981:111-118.

2008 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊*

(源于 2009 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	8956	1	生态学报	1.669
2	应用生态学报	7979	2	植物生态学报	1.656
3	植物生态学报	3742	3	应用生态学报	1.632
4	西北植物学报	3584	4	生物多样性	1.474
5	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3460	5	生态学杂志	1.276
6	植物生理学通讯	3187	6	植物学通报	1.058
7	生态学杂志	3148	7	西北植物学报	1.046
8	遗传学报	2142	8	植物生理与分子生物学 学报	1.034
9	植物生理与分子生物学学报	1855	9	遗传学报	0.887
10	昆虫学报	1580	10	遗传	0.835

★《生态学报》2008 年在核心版的 1868 种科技期刊排序中总被引频次 8956 次,全国排名第 2; 影响因子 1.669,全国排名第 14;第 1~8 届连续 8 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任: 孔红梅

执行编辑: 刘天星 段 靖

生态学报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 30 卷 第 21 期 (2010 年 11 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 30 No. 21 2010

编 辑 《生态学报》编辑部
地址:北京海淀区双清路 18 号
邮政编码:100085
电话:(010)62941099
www.ecologica.cn
shengtaixuebao@rcees.ac.cn

主 编 冯宗炜
主 管 中国科学技术协会
主 办 中国生态学会
中国科学院生态环境研究中心
地址:北京海淀区双清路 18 号
邮政编码:100085

出 版 科 学 出 版 社
地址:北京东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717

印 刷 北京北林印刷厂
发 行 科 学 出 版 社
地址:东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717
电话:(010)64034563
E-mail:journal@cspg.net

订 购 全国各地邮局
国外发行 中国国际图书贸易总公司
地址:北京 399 信箱
邮政编码:100044

广告经营 京海工商广字第 8013 号
许 可 证

Edited by Editorial board of
ACTA ECOLOGICA SINICA
Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
Tel:(010)62941099
www.ecologica.cn
Shengtaixuebao@rcees.ac.cn

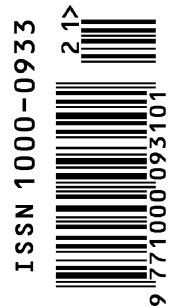
Editor-in-chief FENG Zong-Wei
Supervised by China Association for Science and Technology
Sponsored by Ecological Society of China
Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS
Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China

Published by Science Press
Add:16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China

Printed by Beijing Bei Lin Printing House,
Beijing 100083, China

Distributed by Science Press
Add:16 Donghuangchenggen North
Street, Beijing 100717, China
Tel:(010)64034563
E-mail:journal@cspg.net

Domestic All Local Post Offices in China
Foreign China International Book Trading
Corporation
Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元