

挠力河流域河流的 B-IBI 评价

王建华^{1,2,4}, 田景汉², 吕宪国^{3,*}

(1. 地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京师范大学, 北京 100875; 2. 沧州师范专科学校, 河北 沧州 061001;

3. 中国科学院湿地生态与环境重点实验室, 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 吉林长春 130012;

4. 北京师范大学资源学院, 北京 100875)

摘要: 挠力河流域是中国东北三江平原地区重要的商品粮基地之一。选择挠力河流域干支流 6 个河段 21 个样点, 2007 年 7 月进行河流大型无脊椎动物样本的采集和鉴定, 并分别采用 3 分法和比值法进行了河流大型无脊椎动物完整性指数 (简称 B-IBI) 计算与评价。结果显示, 使用两种方法得出的评价结果基本一致, 且与水质、生境质量评价结果呈显著正相关关系。研究表明, 挠力河流域河流生物完整性总体良好, 个别样点较差。全流域属于无干扰和轻度干扰的样点占 71.4%, 中度干扰的样点占 23.8%, 重度干扰的仅占 4.8%。得分较高的样点多处于挠力河支流或干流上游的山区, 人类活动较少, 河流周围为茂密的森林植被; 分值较低的样点主要位于支流下游或干流中游, 均临近居民点, 水体质量较差, 河岸人类活动密集, 植被覆盖度低, 土地开发利用强烈等特征。这表明, 河流 B-IBI 受到河岸土地覆被和土地利用 (LULC) 的重要影响。

关键词: 河流 B-IBI; 生物完整性; 挠力河流域; 河岸 LULC

文章编号: 1000-0933(2009)12-6672-09 中图分类号: X826, Q178 文献标识码: A

B-IBI assessment of streams in Naoli River Watershed, China

WANG Jian-Hua^{1,2,4}, TIAN Jing-Han², LÜ Xian-Guo^{3,*}

1 State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

2 Cangzhou Teacher's College, Cangzhou 061001, China

3 Key Laboratory of Wetland Ecology and Environment, Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130012, China

4 College of Resources Science and Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(12): 6672 ~ 6680.

Abstract: The Naoli River Watershed is one of the important grain production bases in the Sanjiang Plain, northeast China. After over 50 years of agricultural development, this region has not only tremendously contributed to China's grain production but has also accumulated great wealth to this region. However, environmental degradation trends in the region have been observed due to overemphasizing the pursuit of economic efficiency and ignoring natural environment protection. This paper assesses the biotic integrity in the Naoli River Watershed using the Index of Biotic Integrity of the Benthic Invertebrates (B-IBI). The aquatic benthic invertebrate data were collected in July 2007 from 21 sample sites both in the main stream and 3 tributaries. After identification of these benthic invertebrates in the laboratory, B-IBI index were calculated using both the three scoring method and the ratio scoring method. Both methods come with identical assessment results. Statistical analysis shows a significant positive correlation between the scores of the stream B-IBI and the assessment results of the water quality as well as the habitat quality. The overall score values of the B-IBI in this region are generally high with only a few individual sample sites scoring poorly. Among the 21 sample sites, 15 of them can be classified as in good condition without or with little human impact, covering 71.4% of the sample sites; 5 as in average condition with medium human impact,

基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目 (40830535); 国家自然科学基金资助项目 (40971110)

收稿日期: 2008-08-20; 修订日期: 2009-04-10

致谢: 北京师范大学李小雁教授对本人写作给予帮助, 特此致谢。

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: luxg@neigae.ac.cn

covering 23.8% of the sample sites; 1 as in poor condition with severe human impact, covering 4.8% of the sample sites. The study illustrated that the sample sites with high-scores are mostly located either in the tributaries or the upper reaches of the main stream in the mountainous areas, covered by dense forest with little human activities; the sample sites with low-scores are adjacent to human settlements and normally located in either the outlets of the tributaries or the middle reaches of the main stream with low riparian vegetation coverage, poor water quality, intensive human activities, and intensive land use. Therefore, it can be concluded that the land use and land cover (LULC) have had a significant impact on the stream B-IBI of the Naoli River.

Key Words: Stream B-IBI; biological integrity; Naoli River Watershed; riparian LULC; China

作为河流健康评价指标之一,生物完整性指数(Index of Biotic Integrity,简称 IBI)出现于 20 世纪 80 年代初,由美国生物学家 Karr 提出并首先运用^[1],最初是以鱼类为研究对象建立的(F-IBI),随后逐渐应用于水生大型无脊椎动物(B-IBI)、浮游生物(P-IBI)和高等维管束植物(V-IBI)^[2]。河流大型无脊椎动物具有生活周期长,生活场所比较固定,对水质变化敏感,生境适应性和指示性强,及个体大、易于采集和识别等优势而成为监测河流水质以及评价河流健康的一项重要指标^[3,4]。美国最早开展河流生物完整性评价,到目前为止,在全国 50 个州中,使用水生无脊椎动物评价的有 48 个州,使用鱼类的有 29 个州,使用藻类的有 4 个州^[5];在美国环保署推荐的水质快速生物评价中使用最多的也是水生大型无脊椎动物^[6]。我国的河流生物调查与评价始于 20 世纪 80 年代,早期使用单一指标^[7~9]较多,近年逐渐采用多指标评价技术,如王备新等采用 B-IBI 先后对秦淮河上游和安徽黄山地区溪流的评价^[4,10],张远等进行的辽河流域河流的 B-IBI 评价^[11]等。由于我国地域广大,区域间生物区系差异较大,在生物完整性评价方面还需要大量的实证性研究工作。为此,选择地理环境相对比较封闭的挠力河流域为研究对象,结合实际构建适于该区河流的 B-IBI 评价指标与标准,力图为未来我国东北地区河流生态系统完整性评价体系的建立提供依据。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

挠力河流域位于中国东北黑龙江省三江平原东南部,地理位置在 $131^{\circ}31' \sim 134^{\circ}10'E$, $45^{\circ}43' \sim 47^{\circ}35'N$ 之间(图 1),流域面积 $2.3 \times 10^4 \text{ km}^2$,其中,山地占 38.3%,平原占 61.7%。气候为温带湿润半湿润大陆性季风气候,多年平均气温 3.5°C ,多年平均降水量 518 mm。在过去 50a 中,由于人口增长和经济发展的需要,大量湿地被排水疏干转化为农田,全流域耕地面积由 1954 年的 $2.06 \times 10^2 \text{ km}^2$ 增加到 2000 年的 $1.44 \times 10^3 \text{ km}^2$ ^[12]。目前,该区已成为三江平原主要产粮区和国家重要商品粮基地^[13]。半个世纪的农业发展为国家粮食生产做出了巨大贡献,也为本区积累了大量财富。但是由于只注重追求经济效益,漠视对自然环境的保护,流域内大小水利工程的修筑并没有根本解决旱涝灾害频繁、农业生产不稳的问题。与此同时,由于工农业发展、废水排放、农药化肥施用等带来的水域污染及富营养化威胁却与日俱增,流域生态正出现退化趋势。因此,协调经济发展与自然保护的关系,在保证区域经济快速发展的同时,维护自然生态系统的稳定、平衡与健康,是该地区可持续发展面临的首要问题。

1.2 研究方法

1.2.1 河流生物调查与采样

在进行全流域调查分析基础上,将挠力河分成上游、中游和下游 3 个干流河段,并选择宝石河、宝清河和七里沁河 3 个支流河段。2007 年 7 月 16~30 日完成了以上 6 个河段共 21 个样点的水生大型无脊椎动物样品采集、水质监测和河岸调查记录。位于挠力河干流的样点有 7 个,从上游到下游依次为 N01~N07;支流上有样点 14 个,其中,宝石河沿线有 B01~B05 等 5 个,宝清河沿线有 801~804 等 4 个,七里沁河沿线有 Q01~Q05 等 5 个(图 1)。

河流生物调查及样品采集方法是在小于 1 m 深的河岸区,在 30 m 长的采样断面内选择不同生境类型(水

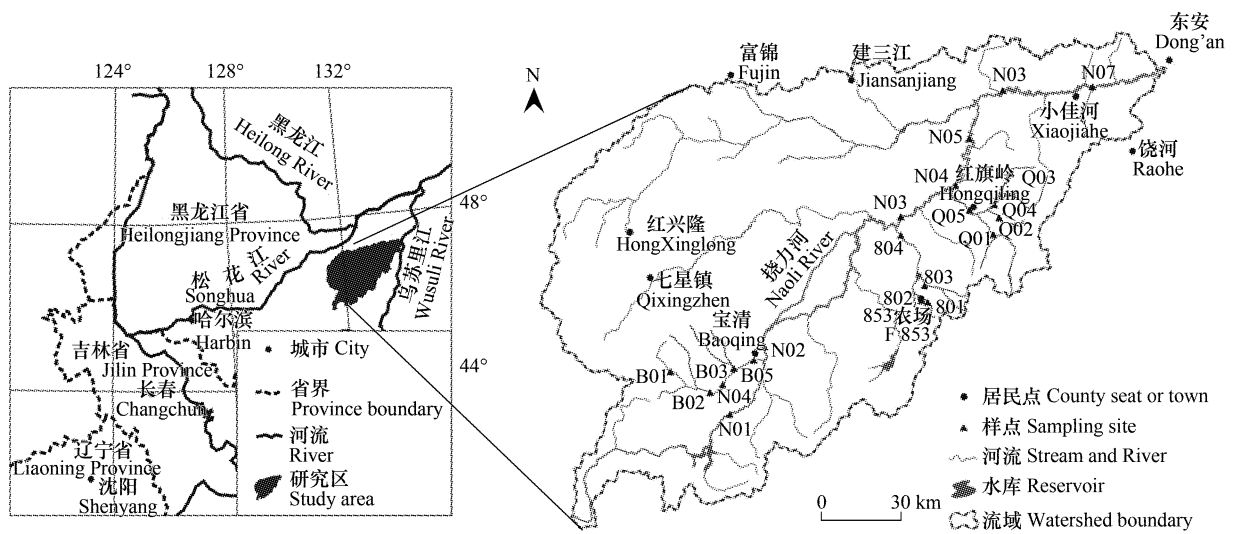


图1 挠力河流域位置及样点分布
Fig. 1 Location of Naoli River Watershed and the 21 sampling sites

草、静水区、流水区、泥质、石质),使用手抄网(D形网,0.3 m宽,40目尼龙纱)采集7个面积为0.15 m (网宽0.3 m×采集长度0.5 m)的小样方,总采样面积在1 m²左右。每个样点3个重复。标本直接在野外筛选,每个样点按软体动物与水生昆虫分类分别装入样品瓶,加酒精固定,带回实验室进行鉴定。标本尽量鉴定到种。

1.2.2 B-IBI 评价方法

生物完整性指数的评价方法可以总结为:① 选择多种生物指标,构建候选生物指标集;② 通过对候选指标观测值的判别能力、敏感性和代表性分析,筛选并建立核心评价指标集;③ 制定核心指标评价标准,并按一定的计算方法归一生成生物完整性指数值;④ 确定生物完整性指数值的评价标准,得出综合评价结果。

1.2.3 参照点与受损点的确定

影响生物完整性评价质量的关键问题之一是确定参照点和受损点。本研究依据源汇景观理论及源汇景观对比指数模型^[14,15],以河流健康为目标,以人类干扰程度为依据,进行挠力河流域源汇景观划分和权重赋值;并采用RS与GIS技术,在ArcGIS和Matlab软件支持下,进行挠力河流域21个样点控制的小流域4类源汇景观面积累积曲线拟合,并完成4类源汇景观在21个小流域相对于流域出口(样点)距离的面积累积百分比和类型面积百分比计算。然后,根据源汇对比指数的计算公式:

$$LCI = \sum_{i=1}^m \int_{x=0}^D S_{xi} \times \omega_i \times P_i \times dx / \sum_{j=1}^n \int_{x=0}^D S_{xj} \times \omega_j \times P_j \times dx$$

式中, S_i 和 S_j 分别表示第*i*种“源”景观和第*j*种“汇”景观在洛伦兹曲线图中的累积面积; ω_i 和 ω_j 分别表示第*i*种“源”景观和第*j*种“汇”景观的权重; P_i 、 P_j 分别表示第*i*种“源”景观和第*j*种“汇”景观在流域中的面积百分比; m 为“源”景观类型数, n 为“汇”景观类型数。计算得到挠力河流域21个样点的流域源汇景观对比指数值(记为Basin-*LCI*)(表1)。最后,在综合分析流域源汇景观对比指数值与水质模糊综合评价结果^[16](Basin-*LCI*值在0.01以下,水质FSE值在80以上)基础上,选定B01,B02,B03,801和Q01~Q05共9个参照点,其余为受损点。

2 研究结果

2.1 候选生物指标集

结合区域特点及研究目标,选取反映群落丰富度、群落组成、营养结构及小生境、污染程度和物种多样性等五大类共24个指标,利用参照点和受损点的调查数据计算各个候选生物指标值,分析候选指标对人类干扰的反应,挑选出随人类干扰单向增大或减小的指标,构建候选生物指标集(表2)。

表 1 21 个样点的流域源汇景观对比指数值 (Basin-LCI)

Table 1 Scores of Basin-LCI of the 21 sampling sites							
样点 Sites	B01	B02	B03	B04	B05	801	802
Basin-LCI	0.0084	0.0226	0.1004	0.0473	0.1019	0.0000	0.0290
样点 Sites	803	804	Q01	Q02	Q03	Q04	Q05
Basin-LCI	0.0328	0.2137	0.0077	0.0000	0.0000	0.0029	0.0089
样点 Sites	N01	N02	N03	N04	N05	N06	N07
Basin-LCI	0.0750	0.0948	0.1428	0.0884	0.0865	0.1514	0.1345

表 2 24 个候选生物指标及其对干扰的响应^[17,19]

Table 2 Description of 24 candidate metrics and metric response to increasing perturbation			
指标类型 Category	候选指标 Metric	编号 Number	对干扰增大的响应 Expected response to increasing perturbation
群落丰富度 Richness measures	总分类单元数① No. of taxa	M1	减小 Decrease
	ET 分类单元数 No. of ET taxa	M2	减小 Decrease
	鞘翅目分类单元数 No. of Coleoptera taxa	M3	减小 Decrease
	水生昆虫分类单元数 No. of aquatic insect taxa	M4	减小 Decrease
	甲壳 + 软体分类单元数 No. of Crustacea + Mollusca taxa	M5	减小 Decrease
	敏感类群 (耐污值≤3) 分类单元数 No. of Intolerant (tolerance value≤3) taxa	M6	减小 Decrease
群落组成 Composition measures	优势分类单元百分比 % Dominant taxon	M7	增大 Increase
	ET 单元百分比 % Ephemeroptera + Trichoptera	M8	减小 Decrease
	前三位单元百分比 % 3 dominant taxa	M9	增大 Increase
	浮游目百分比 % Ephemeroptera	M10	减小 Decrease
	毛翅目百分比 % Trichoptera	M11	减小 Decrease
	蜻蜓目百分比 % Odonata	M12	减小 Decrease
	鞘翅目百分比 % Coleoptera	M13	减小 Decrease
	蛭纲百分比 % Hirudinea	M14	增大 Increase
	甲壳 + 软体单元百分比 % Crustacea + Mollusca	M15	减小 Decrease
	敏感类群百分比 % Intolerant	M16	减小 Decrease
	耐污类群百分比 % Tolerant	M17	增大 Increase
营养结构及小生境 Trophic and Habitat	滤食者百分比 % Filterers	M18	减小 Decrease
	捕食者百分比 % Predators	M19	增大 Increase
	碎食者百分比 % Shredders	M20	减小 Decrease
	刺食者百分比 % Piercers	M21	减小 Decrease
	粘附者百分比 % Clingers	M22	减小 Decrease
	单元生物指数② Taxon Biotic index	M23	增大 Increase
污染程度 Pollution			
多样性 Diversity	Shannon-Wiener 指数 Shannon-Wiener index	M24	减小 Decrease

2.2 核心指标的筛选

2.2.1 判别能力分析

分析 24 个候选生物指标在参照点中的分布范围(表 3),发现 M10、M11、M12、M14 和 M20 的 25% 分位数的指标值均小于 0.05,其中,M10、M11、M12 和 M20 均是随干扰增加而减小的指标,其值的可变动范围非常窄,不易准确区分受干扰程度,因而被淘汰;M8 和 M18 变异太大,说明指标值不稳定,同样不予考虑。

2.2.2 敏感性分析

敏感性分析,即分析生物指标区分参照点和受损点的能力。根据 Barbour 等的评判方法^[18],比较参照点和受损点的四分位距(25% ~ 75% 分位数范围,即箱体)的重叠情况,分别赋予不同的 IQ 值,只有 IQ 值≥2 的指标才予以保留。据此对经判别能力筛选后余下的 17 个生物指标进行敏感性分析,比较 17 个指标值在参照点与受损点的频数分布(图 2),其中,有 M2、M4、M6、M7、M9、M15、M16、M19、M23 和 M24 等 10 个指标的 IQ 值在 2 以上,考虑 M1 的重要性和 M17 的代表性,两个指标在以往的 IBI 评价中均被广泛使用,因而也予以保

留。这样共有 12 个指标进入下一轮筛选。

表 3 候选生物指标在 9 个参照点的频数分布及淘汰原因

Table 3 Quartiles of candidate metrics in the 9 reference sites and reasons for rejections

生物指标 Metric	25% 分位数 25th% ile	中位数 Median	75% 分位数 75th% ile	淘汰原因 Reasons for rejection
M1	13.50	15.00	19.00	
M2	2.00	3.00	6.00	
M3	3.00	5.00	5.00	
M4	8.50	12.00	14.50	
M5	2.00	4.00	5.00	
M6	2.50	4.00	4.50	
M7	0.19	0.26	0.33	
M8	0.07	0.20	0.38	变异太大 Variable
M9	0.42	0.57	0.61	
M10	0.04	0.10	0.24	值太低 Value low
M11	0.01	0.10	0.13	值太低
M12	0.03	0.06	0.12	值太低
M13	0.07	0.09	0.34	
M14	0.03	0.06	0.08	值太低
M15	0.15	0.35	0.63	
M16	0.07	0.18	0.37	
M17	0.06	0.09	0.14	
M18	0.08	0.35	0.59	变异太大
M19	0.13	0.26	0.43	
M20	0.01	0.10	0.13	值太低
M21	0.06	0.09	0.12	变异太大
M22	0.38	0.48	0.66	
M23	4.38	5.17	5.99	
M24	3.01	3.33	3.45	

2.2.3 相关性分析

相关性分析是为了考察指标间的信息重叠程度。若两个指标呈显著线性相关,表明两个指标所反映的信息大部份重叠,保留其中一个就可以;若两个指标显著相关,但为非线性相关或曲线相关,说明两个指标的信息只有部分重叠,两个指标都要保留^[18,20]。对上一轮筛选出来的 12 个指标进行正态分布检验显示,一些指标不符合正态分布,采用 Spearman 非参数相关分析指标之间的相关性(表 4)。结果显示,M1 和 M4、M2 和 M6、M2 和 M23、M6 和 M23、M6 和 M24、M7 和 M9、M7 和 M24、M9 和 M15、M9 和 M24、M16 和 M23 等 6 对指标呈显著线性相关,每对指标保留一个即可。通过考察指标值的判别能力和敏感性之后,确定保留 M1、M9、M17、M19、M23、M24 等 6 个指标组成核心评价指标集。

表 4 12 个候选生物指标的 Spearman 相关分析结果($n=21$)

Table 4 Correlation coefficient between the 12 candidate biometrics($n=21$)

	M1	M2	M4	M6	M7	M9	M15	M16	M17	M19	M23	M24
M1	1											
M2	0.521	1										
M4	0.931 ^{##}	0.697 [*]	1									
M6	0.615 [*]	0.836 ^{##}	0.748 [*]	1								
M7	-0.242	-0.461	-0.296	-0.598 [*]	1							
M9	-0.264	-0.567 [*]	-0.342	-0.659 [*]	0.850 ^{##}	1						
M15	-0.012	-0.626 [*]	-0.235	-0.594 [*]	0.744 [*]	0.808 ^{##}	1					
M16	0.374	0.785 [*]	0.581 [*]	0.862 [*]	-0.584 [*]	-0.726 [*]	-0.761 [*]	1				
M17	-0.627 [*]	-0.105	-0.486	-0.053	-0.335	-0.175	-0.401	0.165	1			
M19	0.276	0.154	0.304	0.343	-0.574 ^{**}	-0.557 [*]	-0.473	0.318	-0.076	1		
M23	-0.393	-0.750 ^{##}	-0.550 [*]	-0.732 ^{##}	0.408	0.657 [*]	0.666 [*]	-0.770 ^{##}	0.125	-0.233	1	
M24	0.555 [*]	0.672 [*]	0.633 [*]	0.841 ^{##}	-0.853 ^{##}	-0.875 ^{##}	-0.720 [*]	0.792 [*]	0.044	0.501	-0.708 [*]	1

* $P < 0.01$ 显著线性相关 Significance

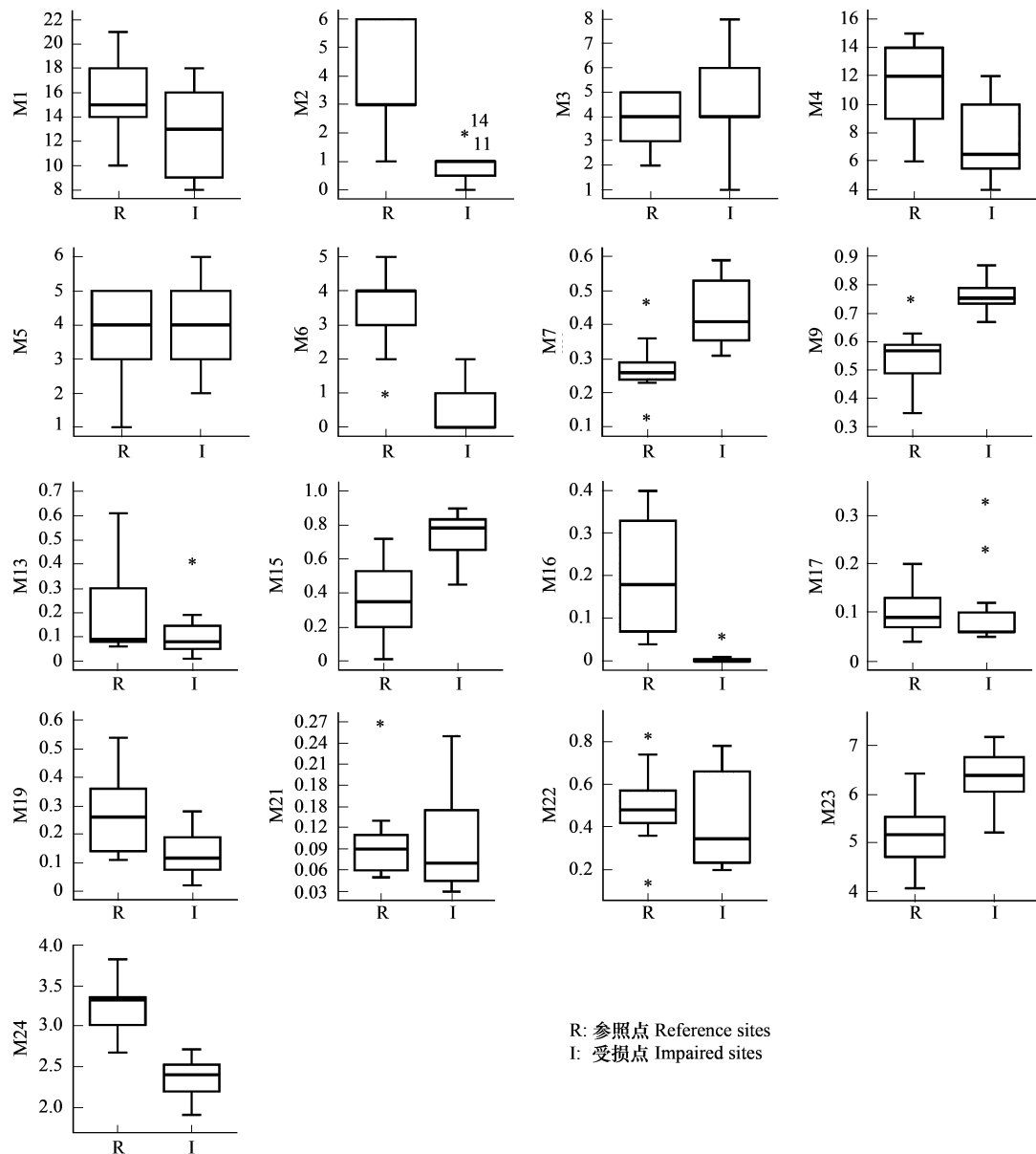


图2 候选生物参数在参照点与受损点的箱线图

Fig. 2 Boxplots of candidate metrics between reference and impaired sites

2.3 B-IBI 指数的计算

2.3.1 采用三分法计算 B-IBI

按照三分法^[10,18],首先计算 6 个核心指标值在参照点的频数分布,拟定 6 个核心评价指标的评分标准(表 5)。对于随干扰增大而值减小的指标,取其 25% 分位数作为分界点,分界点之上的指标值为理想值,赋 5 分,分界点之下的指标值进行均分,上段赋予 3 分,下段赋予 1 分;对于随干扰增大而值增大的指标,取其 75% 分位数作为分界点,分界点之下的指标值为理想值,赋 5 分,分界点之上的指标值进行均分,下段赋予 3 分,上段赋予 1 分。据此为每个样点的核心评价指标实测值分别进行评分,然后将 6 个核心指标得分累加,得到每个样点的 B-IBI 总得分(表 7)。

2.3.2 采用比值法计算 B-IBI

按照比值法^[10,21],首先计算各个核心指标在全部样点中的 95% 或 5% 分位数的值(表 6)。对于随干扰增大而值减小的指标,以 95% 分位数的指标值为最佳期望值,样点指标分值 = 实测值/最佳期望值;对于随干扰

增大而值增大的指标,则以 5% 分位数的指标值为最佳期望值,指标分值 = (最大值 - 实测值)/(最大值 - 最佳期望值),最后将 6 个核心指标分值累加,得出各样点的 B-IBI 总分值(表 7)。

表 5 核心指标在参照点的频数分布及评分标准

Table 5 Descriptive statistics and score criteria for the core metrics in the reference sites

核心指标 Core Metrics	频数分布 Frequency distribution (<i>n</i> = 9)					评分标准 Score Criteria		
	最小值 Min	25% 分位数 the 25% ile	50% 分位数 the 50% ile	75% 分位数 the 75% ile	最大值 Max	5	3	1
M1	10.00	13.50	15.00	19.00	21.00	>14	8~14	<8
M9	0.35	0.485	0.57	0.61	0.75	<0.61	0.61~0.81	>0.81
M17	0.04	0.06	0.09	0.14	0.20	<0.14	0.62~0.81	>0.57
M19	0.11	0.13	0.26	0.42	0.54	>0.07	0.07~0.13	<0.13
M23	4.07	4.38	5.17	5.99	6.43	<6	6~8	>8
M24	2.68	3.01	3.33	3.45	3.83	>3	2~3	<2

表 6 核心指标在全部样点的频数分布

Table 6 Descriptive statistics for the core metrics in all the sites

核心指标 Core Metrics	M1	M9	M17	M19	M23	M24
5% 分位数 the 5% ile	8.00	0.36	0.04	0.02	4.09	1.91
95% 分位数 the 95% ile	20.90	0.87	0.32	0.53	7.16	3.79
最大值 Max	21.00	0.87	0.33	0.54	7.18	3.83

表 7 挠力河流域 21 个样点的 B-IBI 评价结果

Table 7 B-IBI values for the 21 sampling sites in the Naoli River Watershed

样点 Sites	B01	B02	B03	B04	B05	801	802
3 分法得分	26	26	24	22	20	30	16
评价结果	无干扰	无干扰	轻度干扰	轻度干扰	中度干扰	无干扰	中度干扰
比值法得分	3.99	3.72	3.82	3.03	2.64	4.51	2.04
评价结果	无干扰	轻度干扰	无干扰	轻度干扰	中度干扰	无干扰	中度干扰
样点 Sites	803	804	Q01	Q02	Q03	Q04	Q05
3 分法得分	14	24	26	26	30	30	26
评价结果	重度干扰	轻度干扰	无干扰	无干扰	无干扰	无干扰	无干扰
比值法得分	1.62	3.35	3.81	4.55	5.41	4.46	3.29
评价结果	重度干扰	轻度干扰	无干扰	无干扰	无干扰	无干扰	轻度干扰
样点 Sites	N01	N02	N03	N04	N05	N06	N07
3 分法得分	22	18	20	18	22	24	22
评价结果	轻度干扰	中度干扰	中度干扰	中度干扰	轻度干扰	轻度干扰	轻度干扰
比值法得分	3.30	2.12	2.69	2.33	3.17	3.50	3.17
评价结果	轻度干扰	中度干扰	中度干扰	中度干扰	轻度干扰	轻度干扰	轻度干扰

3 分法得分 Scores of 3 scoring method; 比值法得分 Scores of ratio scoring method; 评价结果 Assessment results; 无干扰 Non-Impaired; 轻度干扰 Slight Impaired; 中度干扰 Moderate Impaired; 重度干扰 Severe Impaired

2.4 B-IBI 评价结果

根据 3 分法计算的 B-IBI 总得分在参照点的 25% 分位数值为 26,全部样点的 5% 分位数值为 14,10% 分位数值为 16,25% 分位数值为 20,50% 分位数值为 24,因此,确定 3 分法 B-IBI 评分标准为:25 以上(不含 25)为无干扰;20~25 为轻度干扰,15~20 为中度干扰;15 以下(不含 15)为重度干扰。根据比值法计算的 B-IBI 总分值在参照点的 25% 分位数值为 3.76,确定比值法 B-IBI 指数的评分标准为:3.76 以上(不含 3.76)为无干扰;2.82~3.76 为轻度干扰,1.88~2.82 为中度干扰;1.88 以下(不含 1.88)为重度干扰。据此得出挠力

河流域河流 B-IBI 评价结果(表 7)。

3 讨论

3.1 B-IBI 评价结果分析

根据 3 分法计算, 挠力河流域 21 个样点的河流 B-IBI 指数值介于 14 ~ 30 之间, 根据比值法计算, 全部样点的 B-IBI 指数值介于 1.62 ~ 5.41 之间。尽管两种方法得出的分值不同, 但是根据各自的评分标准, 其评价结果基本一致, 即: 挠力河流域河流生物完整性整体状况良好, 个别样点较差。全流域属于无干扰和轻度干扰的样点占 71.4%, 中度干扰的样点占 23.8%, 重度干扰的仅占 4.8%; 得分较高的样点多处于支流或干流上游, 如 B01、801、Q01、Q02、Q03 和 Q04 等样点均位于各支流上游山区, 人类活动较少, 河流周围为茂密的森林植被; 分值较低的样点, 如 B05、802、803、N02、N03 和 N04, 主要位于支流下游或干流中游, 且均临近居民点, 水体浑浊或有腥臭味, 河岸人类活动密集, 植被覆盖度低, 土地开发利用强烈等特征。

3.2 与河流水质和生境质量的关系

正态分布检验表明, 样本系列不符合正态分布, 采用 Spearman 非参数检验分析两种方法得出的河流生物完整性指数之间, 以及它们与河流水质模糊综合评价结果之间、河流生境质量评价结果之间的相关关系。结果显示, 两个河流生物完整性指数之间具有极显著相关关系, 相关系数达到 0.94 ($P < 0.01$); 两个河流生物完整性指数与水质综合评价结果显著相关, 相关系数在 0.77 上下 ($P < 0.01$); 两个河流生物完整性指数与河流生境质量指数的相关性也达到显著水平, 相关系数在 0.83 左右 ($P < 0.01$) (表 8)。这表明, 河流水质越好, B-IBI 值越高; 河流生境质量越好, B-IBI 值越高。

表 8 河流 B-IBI 与河流水质和生境质量的相关关系

Table 8 Correlativity relationship between values of stream B-IBI, water quality, and habitat quality of streams

		B-IBI 分值 Scores of B-IBI		水质 FSE	生境 ISHQ
		3 分法	比值法		
IBI 分值 Scores of B-IBI	3 分法	1			
	比值法	0.941 **	1		
水质 FSE	0.776 **	0.765 **	1		
生境 ISHQ	0.832 **	0.828 **	0.710 **	1	

* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, $n = 21$; 3 分法 3 scoring method; 比值法 Ratio scoring method; FSE: Fuzzy Synthetic Evaluation of water quality; ISHQ: Index of Stream Habitat Quality

3.3 B-IBI 评价指数的适用性

不同的地理区或生态区往往拥有不同的动物区系。国外的河流健康评价一般都要划分地理区或生态区, 并进行河流类型和级别划分。如, 澳大利亚的 ISC 指数出现于 1999 年, 2004 年进行了一些改进, 其中一项就是增加了河流地理分区; 美国的河流生物完整性评价, 首先考虑的也是样点是否来自同一生态区或亚区。根据傅伯杰等^[22]的中国生态区划方案, 挠力河流域位于三江平原农业-湿地生态区, 因而保证了样来自同一个生态区。但未进行河流级别细分, 因而造成干流河段的分值较低, 在今后的研究中应该加以改进。

本研究中, 尽管所有样点均来自同一个生态区, 避免了因样点来自不同生态区其生物指标值及其评价标准的差异, 但是由于本研究只进行了一个年份、一个流域的调查采样, 与国外长期大量的监测工作相比, 数据量极为有限, 完成的仅仅是对挠力河流域河流 B-IBI 评价指标及标准进行的探索性研究; 虽然分析结果表明, B-IBI 与河流水质和河流生境质量显著相关, 基本能够反映河流生态系统的健康状况, 但是今后仍需进行长期的系统性观测研究。

References:

- [1] Karr J R. Assessment of biotic integrity using fish communities. Fisheries, 1981, 6(6): 21 - 27.
- [2] Wang B X, Yang L F. Advances in rapid bioassessment of water quality using benthic macro- invertebrates. Journal of Nanjing Agricultural

- University, 2001, 24(4): 107—111.
- [3] Resh V H, Jackson J K. Rapid assessment approaches to biomonitoring using benthic macroinvertebrates. In: Rosenberg D M, Resh V H eds. Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates. New York: Chapman & Hall, 1993. 159—164.
- [4] Wang B X, Yang L F. Bioassessment of Qinhui River using a river biological index. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(10): 2082—2091.
- [5] Karr J R, Chu E W. Sustaining living rivers. *Hydrobiologia*, 2000, 422/423: 1—14.
- [6] Chutter F M. Research on the Rapid Biological Assessment of Water Quality Impacts in Streams and Rivers. WRC Report No. 422/1/98. Water Research Commission. Pretoria, 1998.
- [7] Ren S Z. The characteristics of benthic macroinvertebrate community and water quality in Beijing-Tianjin area. *Acta Ecologica Sinica*, 1991, 11(3): 262—268.
- [8] Cai X M, Ren J C, Zong Z X, *et al.* Benthic macroinvertebrate communities in Qinglong River and assessment of its water quality. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1992, 3(4): 364—370.
- [9] Peng J H, Liu J S, Zhu A M. The zoobenthos study and their use in water quality assessment in the Huoxihe River. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2000, 24(4): 340—346.
- [10] Wang B X, Yang L F, Hu B J, *et al.* A preliminary study on the assessment of stream ecosystem health in south of Anhui Province using benthic index of biotic index integrity. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(6): 1481—1490.
- [11] Zhang Y, Xu C B, Ma X P, *et al.* Biotic integrity index and criteria of benthic organisms in Liao River Basin. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2007, 27(6): 919—927.
- [12] Hou W, Zhang S W, Zhang Y Z, *et al.* Analysis on the shrinking process of wetland in Naoli River Basin of Sanjiang Plain since the 1950s and its driving forces. *Journal of Natural Resources*, 2004, 19(6): 725—731.
- [13] Liu H Y, Zhang S K, Lu X G. Processes of wetland landscape changes in Naoli River Basin since 1980s. *Journal of Natural Resources*, 2002, 17(6): 698—705.
- [14] Chen L D, Fu B J, Xu J Y, *et al.* Location-weighted landscape contrast index: a scale independent approach for landscape pattern evaluation based on “Source-Sink” ecological processes. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(11): 2406—2413.
- [15] Chen L D, Fu B J, Zhao W W. Source-sink landscape theory and its ecological significance. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(5): 1444—1449.
- [16] Wang J H, Lu X G, Tian J H, Jiang M. Fuzzy synthetic evaluation of water quality of Naoli River using parameter correlation analysis. *Chinese Geographical Science*, 2008, 18(4): 361—368.
- [17] Wallace J B, Grubaugh J W, Whiles M R. Biotic indices and stream ecosystem processes: results from an experimental study. *Ecological Applications*, 1996, 6(1): 140—151.
- [18] Barbour M T, Gerritsen J, Griffith G E, *et al.* A framework for biological criteria for Florida streams using benthic macro-invertebrates. *Journal of the North American Benthological Society*, 1996, 15(2): 185—211.
- [19] Hilsenhoff, W L. Rapid field assessment of organic pollution with a family-level biotic index. *Journal of the North American Benthological Society*, 1988, 73(1): 65—68.
- [20] Maxted J R, Barbour M T, Gerritsen J, *et al.* Assessment framework for mid-Atlantic coastal plain streams using benthic macroinvertebrates. *Journal of the North American Benthological Society*, 2000, 19(1): 128—144.
- [21] Blocksom K A, Kurtenbach J P, Klemm D J, *et al.* Development and evaluation of the lake macroinvertebrate integrity index (LMII) for New Jersey lakes and reservoirs. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2002, 77(3): 311—333.
- [22] Fu B J, Liu G H, Chen L D, *et al.* Scheme of ecological regionalization in China. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(1): 1—6.

参考文献:

- [2] 王备新, 杨莲芳. 大型底栖无脊椎动物水质快速生物评价的研究进展. *南京农业大学学报*, 2001, 24(4): 107—111.
- [4] 王备新, 杨莲芳. 用河流生物指数评价秦淮河上游水质的研究. *生态学报*, 2003, 23(10): 2082—2091.
- [7] 任淑智. 京津地区及邻近地区底栖动物群落特征与水质等级. *生态学报*, 1991, 11(3): 262—268.
- [8] 蔡晓明, 任久长, 宗志祥, 尚玉昌, 杨俭美, 许崇任, 李松岗, 柯兵. 青龙河底栖无脊椎动物群落结构及其水质评价. *应用生态学报*, 1992, 3(4): 364—370.
- [9] 彭建华, 刘家寿, 朱爱民. 火溪河底栖动物现状及水质评价. *水生生物学报*, 2000, 24(4): 340—346.
- [10] 王备新, 杨莲芳, 胡本进, 单林娜. 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—1490.
- [11] 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.
- [12] 侯伟, 张树文, 张养贞, 匡文慧. 三江平原挠力河流域 50 年代以来湿地退耕过程及驱动力分析. *自然资源学报*, 2004, 19(6): 725—731.
- [13] 刘红玉, 张世奎, 吕宪国. 20 世纪 80 年代以来挠力河流域湿地景观变化过程研究. *自然资源学报*, 2002, 17(6): 698—705.
- [14] 陈利顶, 傅伯杰, 徐建英, 巩杰. 基于“源-汇”生态过程的景观格局识别方法. *生态学报*, 2003, 23(11): 2406—2413.
- [15] 陈利顶, 傅伯杰, 赵文武. “源”“汇”景观理论及其生态学意义. *生态学报*, 2006, 26(5): 1444—1449.
- [22] 傅伯杰, 刘国华, 陈利顶, 马克明, 李俊杰. 中国生态区划方案. *生态学报*, 2001, 21(1): 1—6.