

B-IBI 在东江河流健康评估中的应用研究

盛 萧¹, 黄小追¹, 徐海升², 邓培雁^{1*}, 王旭涛³

(1. 华南师范大学化学与环境学院, 广州 510006; 2. 深圳市铁岗·石岩水库管理处, 深圳 518034; 3. 珠江流域水环境监测中心, 广州 510611)

摘要: 基于东江流域 24 个采样点的底栖无脊椎动物监测数据, 构建生物完整性指数, 采用比值法统一筛选出的核心参数的量纲, 将各个参数累加得到 B-IBI 值. 以参照点 B-IBI 值的 25% 分位数为健康基准值, 小于 25% 分位数值值的进行 4 等分, 划分河流生态健康评价标准: $B-IBI \geq 3.87$ 为健康; $2.90 \leq B-IBI < 3.87$ 为亚健康; $1.93 \leq B-IBI < 2.90$ 为一般; $0.97 \leq B-IBI < 1.93$ 为差; $B-IBI < 0.97$ 为极差. 运用构建的 B-IBI 对东江流域的主要干支流进行健康评估, 结果显示, 全流域 24 个样点中达到“健康”和“亚健康”水平的占 29.2%, “一般”占 29.2%, “差”和“极差”占 41.6%.

关键词: B-IBI; 底栖无脊椎动物; 生物完整性指数; 东江; 河流健康评估

中图分类号: Q89

文献标志码: A

文章编号: 1000-5463(2016)02-0052-09

Application of Benthic Index of Biotic Integrity (B-IBI) to Assess the River Ecosystem Health in Dongjiang Watershed

SHENG Xiao¹, HUANG Xiaozhui¹, XU Haisheng², DENG Peiyan^{1*}, WANG Xutao³

(1. School of Chemistry and Environment, South China Normal University, Guangzhou 510006, China;

2. Shenzhen Tiegang-Shiyan Reservoir Administrative Department, Shenzhen 518034, China;

3. Scientific Institute of Pearl River Water Resources Protection, Guangzhou 510611, China)

Abstract: Based on the monitoring data collected of benthic invertebrate from the 24 sampling sites, a preliminary Benthic Index of Biotic Integrity (B-IBI) was developed to assess the health status of main stream and tributaries in Dongjiang Watershed. Totally 30 candidate metrics which related to benthic's community structure and function, feeding function, interference tolerance and habitat were evaluated by distributing range analysis, sensitivity analysis and Pearson correlation analysis. The final B-IBI included total taxa number, EPT taxa number, relative abundance of EPT taxa, three most-dominant taxa, scrapers and gathers. The dimension of the core metrics were unified by rationing and the scoring normalized based on the quadrisection system, and these scores were interpreted as health (≥ 3.87), sub-health ($2.90 - 3.87$), normal ($1.93 - 2.90$), poor ($0.97 - 1.93$) and very poor (< 0.97). The results showed that in the whole Dongjiang Watershed 29.2% of sampling sites were in “health” and “sub-health” conditions, 29.2% of sampling sites were in “normal” conditions, and 41.6% of sampling sites were in “poor” or “very poor” conditions.

Key words: B-IBI; benthic invertebrate; index of biotic integrity (IBI); Dongjiang Watershed; ecological health assessment

KARR^[1]于 1981 年以鱼类为研究对象构建并最早提出了生物完整性指数 (Index of Biotic Integrity, 简称 IBI), 其由多个生物状况参数组成, 每个参数都会对一类或几类干扰反应敏感, 比较参数值与参考系统的标准值得出该水生态系统的健康程度.

该方法已被应用到底栖无脊椎动物、浮游生物、附生生物和高等水生植物中. IBI 指数用于评价美国中西部河流有很好的实用性^[2]. 随后, 在巴西、法国、德国、日本、印度等^[3-7]也得到了广泛的应用. 我国对 IBI 的研究起步较晚.

在水生态系统中,底栖无脊椎动物一般具有较高的生物多样性,对维持水生态系统功能的完整性起着重要作用^[8].底栖无脊椎动物存在于所有河流中;不易移动,可反映生境的大部分状况;样品定性和鉴别容易;生命周期较长,能整合较长时期的环境压力;对外界的胁迫敏感等^[9],成为水环境评价中的最佳选择.

东江是我国珠江三大水系之一,其水系水资源和生态系统保护面临严峻的挑战,合理有效地开展水质和生态监测显得尤为迫切.目前,应用底栖无脊椎动物对东江流域进行生态学评价的研究报道尚少.本研究拟构建适合东江的 B-IBI,以期以东江流域的水生态健康评估、科学管理和合理保护提供参数,也为 IBI 在我国河流健康评估中的推广应用提供依据.

1 研究方法

1.1 研究区域概况及采样点

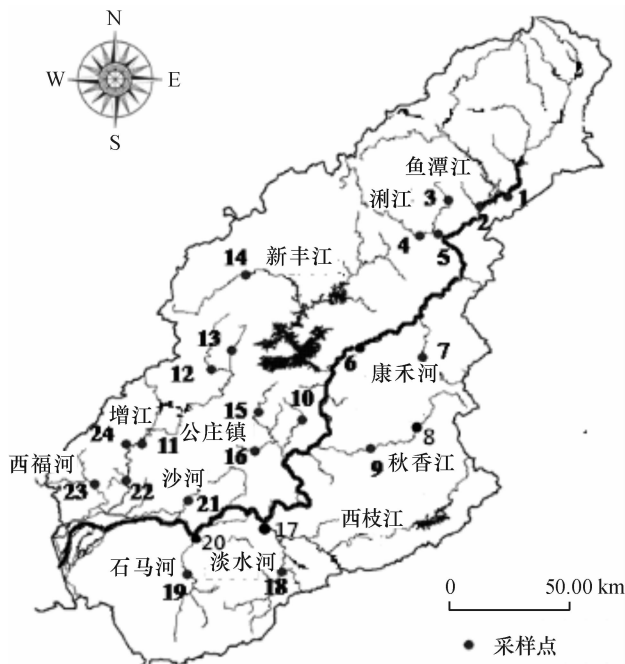
东江发源于江西省寻乌县,西南流入广东境内,经龙川、惠州、东莞等县市流入珠江,在狮子洋出虎门入海.干流全长 562 km,流域面积达 35 340 km².东江流域属中南亚热带季风气候,多年平均气温为 20.4 °C,多年平均降雨量 1 750 mm^[10].全流域共设置 24 个采样点(D₁~D₂₄),包括干流及其所有一级支流,采样点分布图见图 1.

1.2 底栖无脊椎动物样品采集、处理与分析

采样在枯水期,于 3 日内完成采样.利用直径 30 cm、孔径 500 μm 的尼龙纱 D 形网采集底栖无脊椎动物样品.每个样点在 100 m 长的范围内(水深小于 1.5 m),采集长度 3~10 m,面积 0.9~3.0 m²,每个样点采集 3 个平行样.将 D 形网所采底泥倒入水桶,用水柔和搅动桶内底质,用孔径为 300 μm 的筛网过滤,重复多次,直至目测无底栖动物漂浮,再将底质倒入白瓷盘中进行仔细挑拣.随后装入广口瓶中,70% 乙醇固定保存,带回实验室作进一步分拣.在体视显微镜下鉴定、分类,将每个样点采集的底栖无脊椎动物按不同种类准确地统计个体数^[11].种类鉴定大部分至科或属,少数鉴定到种^[12].

1.3 水样采集与理化指标测定

同步采集水样,参照《水和废水监测分析方法(第四版)》^[13],用便携式多参数水质测量仪(YSI)在现场测定样点的水温、pH、电导率、溶解氧(DO),实验室测定五日生化需氧量(BOD₅)、高锰酸盐指数



干流样点: D₁: 南农村; D₂: 车田水; D₆: 柏塘河; D₁₇: 宝华寺; D₂₀: 潼湖农场.

支流样点: 鱼潭江 D₃: 三多村; 湘江 D₄: 林寨镇; D₅: 东水镇; 康禾河 D₇: 若坝大桥; 秋香江 D₈: 瓦溪镇; D₉: 凤安镇; 石坝河 D₁₀: 石坝桥; 公庄河 D₁₅: 公庄镇; 赤水河 D₁₆: 柏塘镇; 新丰江 D₁₄: 新丰县福水陂; 增江 D₁₁: 正果大桥; D₁₂: 黄竹沥村; D₁₃: 隔水桥; D₂₂: 雁塔大桥; D₂₄: 庙潭大桥; 淡水河 D₁₈: 三和镇; 石马河 D₁₉: 东莞雍景花园; 沙河 D₂₁: 龙华桥; 西福河 D₂₃: 神岗桥(1)

图 1 东江采样点分布示意图

Figure 1 Sampling sites in Dongjiang Watershed

(COD_{Mn})、总氮(TN)、氨氮(NH₄-N)、硝酸盐氮(NO₃-N)、亚硝酸盐氮(NO₂-N)、总磷(TP)、正磷酸盐(PO₄-P)和氯化物(Cl⁻)等 13 项水质指标.

1.4 B-IBI 的构建及评价

1.4.1 参照点和受损点的确定 参照点的确定是生物完整性评价法的关键.本研究采用综合污染指数评价法^[14]来选取参照点和受损点,公式如下:

$$P = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{C_m}$$

式中 P 为综合污染指数, C_i 为第 i 种水质指标的实测值, C_m 为第 i 种水质指标的评价标准值. 其中: $0 \leq P < 0.2$ 为“好”, $0.2 \leq P < 0.4$ 为“较好”, $0.4 \leq P < 0.7$ 为轻度“污染”, $P \geq 0.7$ 为“中度污染”及以下. 样点水质等级为“较好”类及以上的作为参照点, 其他点则为受损点.

1.4.2 候选参数的选取 参照美国 EPA 建立的快速生物评价应用手册(Rapid bioassessment protocols, RBPs)^[15], 将所用到的生物参数分为 4 类(表 1), 对东江流域进行有效的河流健康评价. 其中, 干扰耐受

表 1 B-IBI 评价中的候选参数及对人类干扰的响应

Table 1 Candidate metrics for B-IBI and their responses to human disturbance

参数序号		参数	对干扰的响应	
与群落结构和功能相关	分类单元数	M ₁ 总分类单元数	下降	
		M ₂ 水生昆虫分类单元数	下降	
		M ₃ EPT 分类单元数	下降	
		M ₄ 蜉蝣目分类单元数	下降	
		M ₅ 双翅目分类单元数	下降	
		M ₆ 软体动物和甲壳动物分类单元数	下降	
种类个体数量比例		M ₇ EPT 相对丰度%	下降	
		M ₈ 水生昆虫%	下降	
		M ₉ 双翅目%	下降	
		M ₁₀ 摇蚊科%	上升	
		M ₁₁ 软体动物和甲壳动物%	下降	
		M ₁₂ 寡毛类%	上升	
		M ₁₃ 优势分类单元%	上升	
	多样性指数		M ₁₄ 前 3 位优势分类单元%	上升
			M ₁₅ 香农-维纳指数	下降
			M ₁₆ 辛普森指数	下降
			M ₁₇ 马格列夫指数	下降
	与功能摄食类群相关		M ₁₈ 均匀度指数	下降
			M ₁₉ 撕食者%	下降
		M ₂₀ 刮食者%	下降	
		M ₂₁ 捕食者%	下降	
		M ₂₂ 集食者%	上升	
		M ₂₃ 滤食者%	上升	
与干扰耐受相关			M ₂₄ 敏感类群分类单元数	下降
			M ₂₅ 耐污类群分类单元数	上升
			M ₂₆ 敏感类群%	下降
			M ₂₇ 耐污类群%	上升
与栖境相关		M ₂₈ 耐污生物指数 HBI	上升	
		M ₂₉ 粘附者分类单元数	下降	
		M ₃₀ 粘附者%	下降	

注: EPT 分类单元数为蜉蝣目(Ephemeroptera) + 襉翅目(Plecoptera) + 毛翅目(Trichoptera) 分类单元数之和

表 2 24 个样点的综合污染指数值

Table 2 Comprehensive pollution index value of 24 sampling sites

样点	P 值	样点	P 值	样点	P 值	样点	P 值
D ₁	0.54	D ₇	0.31	D ₁₃	0.60	D ₁₉	2.10
D ₂	0.55	D ₈	0.49	D ₁₄	0.53	D ₂₀	1.30
D ₃	0.30	D ₉	0.40	D ₁₅	0.92	D ₂₁	0.94
D ₄	0.19	D ₁₀	0.73	D ₁₆	0.58	D ₂₂	0.98
D ₅	0.35	D ₁₁	0.84	D ₁₇	0.62	D ₂₃	0.65
D ₆	0.16	D ₁₂	0.32	D ₁₈	1.97	D ₂₄	0.91

参数的耐污值确定参考王备新^[16]和 WANG^[17]的资料,耐污值 ≤ 3 为敏感类群,耐污值 ≥ 7 为耐污类群.

1.4.3 候选参数的筛选 B-IBI 的筛选主要步骤:(1)分布范围检验:剔除样点中分布范围过窄或存在零值过多($\geq 90\%$)的参数,剩余参数作下一步筛选;(2)敏感性分析:参照 BARBOUR 等^[15]的方法,利用箱线图法分析各候选参数在参照点和受损点的箱体四分位范围(Interquartile ranges, IQ)的重叠情况.选择 $IQ \geq 2$ 的参数作进一步分析;(3)相关性分析:对参数进行 Pearson 相关性分析,剔除相关性较高者($|r| \geq 0.70$),确定 B-IBI 评价指标中的核心参数.

1.4.4 B-IBI 分值计算及评价标准 选用比值法统一核心参数的量纲,参照王备新^[18]的计算方法得出各样点的 B-IBI 值.采用参照点 B-IBI 值分布的 25% 分位数作为确定河流生态健康的评价标准.

2 结果与分析

2.1 B-IBI 指数的构建

2.1.1 参照点的确定 以 GB3838-2002 中 II 类水为评价基准,计算水质指标中的 DO、BOD₅、COD_{Mn}、NH₄-N、TN 和 TP,得出各样点的综合污染指数值(表 2).根据参照点和受损点的筛选标准,最终确定了 6 个参照点($P < 0.4$)和 18 个受损点.参照点与受损点的 6 项水质指标的非参数检验(Mann-Whitney U Test)表明两者有显著性差异(表 3).

2.1.2 候选参数的筛选 所有候选参数的分布范围检验表明,除 M₁₉ 撕食者% 外,其余参数的分布范围适中,且出现零值的频率均小于 90%.

参与筛选的 29 个生物参数中,仅总分类单元数、水生昆虫分类单元数、EPT 分类单元数、蜉蝣目分类单元数、EPT%、水生昆虫%、前三位优势分类单元%、香农-维纳指数、马格列夫指数、刮食者%、

表3 参照点与受损点的水质状况(均值±标准差)

Table 3 State of water quality between reference and impaired sites (Mean ± SD)

测试点	指标 $\rho / (\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$					
	DO	BOD ₅	COD	NH ₄ -N	TN	TP
参照点(R)	7.16 ± 0.91	0.60 ± 0.18	1.30 ± 0.40	0.25 ± 0.21	1.12 ± 0.52	0.04 ± 0.03
受损点(I)	4.50 ± 2.43	3.66 ± 2.37	2.94 ± 1.19	2.78 ± 1.85	4.61 ± 2.02	0.20 ± 0.11
显著性 Sig.	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01	0.00

集食者%、敏感类群%等12个参数的IQ值大于或等于2(图2),可进入下一步分析。

Pearson相关性分析(表4)表明,总分类单元数与水生昆虫分类单元数、香农-维纳指数、马格列夫指数均显著相关($|r| > 0.70$),由于总分类单元数通常能更全面地反映生物的群落特征,因此保留,剔除M₂、M₁₅、M₁₇;EPT分类单元数与蜉蝣目分类单元数

显著相关($r = 0.987$),由于EPT分类单元包含蜉蝣目、襉翅目和毛翅目分类单元的信息,且在底栖动物完整性指数的构建中广泛应用,因此保留这个参数,剔除M₄;敏感类群%与前三位优势分类单元%($r = -0.729$)显著相关,但敏感类群%在全流域的24个样点中分布范围相对较窄,为提高评价结果的准确性,因此被剔除,保留M₁₄。

表4 12个候选生物参数间的Pearson相关性分析

Table 4 Pearson's correlation matrix of 12 candidate metrics

	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₇	M ₈	M ₁₄	M ₁₅	M ₁₇	M ₂₀	M ₂₂	M ₂₆
M ₁	1											
M ₂	0.760*	1										
M ₃	0.499*	0.668**	1									
M ₄	0.485*	0.643**	0.987**	1								
M ₇	0.168	0.314	0.656**	0.622**	1							
M ₈	0.071	0.431*	0.278	0.254	0.466*	1						
M ₁₄	-0.672**	-0.646**	-0.645**	-0.628**	-0.657**	-0.287	1					
M ₁₅	0.872**	0.690**	0.490*	0.486*	0.127	0.054	-0.708**	1				
M ₁₇	0.933**	0.715**	0.511*	0.514*	0.128	0.046	-0.702**	0.946**	1			
M ₂₀	0.106	0.473*	0.493*	0.465*	0.743**	0.514*	-0.583**	0.045	0.056	1		
M ₂₂	0.069	-0.154	-0.305	-0.291	-0.407*	0.084	0.421*	-0.008	0.046	-0.506*	1	
M ₂₆	0.448*	0.403	0.606**	-0.555**	0.818**	-0.398	-0.729**	0.381	0.359	0.480*	-0.305	1

*表示 $P < 0.05$, **表示 $P < 0.01$

综合以上分析,最终确定出东江流域B-IBI评价的核心参数包括总分类单元数(M₁)、EPT分类单元数(M₃)、EPT相对丰度%(M₈)、前三位优势分类单元%(M₁₄)、刮食者%(M₂₀)和集食者%(M₂₂)等6个参数。

2.1.3 B-IBI分值计算及评价标准 根据所有样点参数值的分布,确定各参数的比值法计算公式(表5),最后累加得到各样点的B-IBI值。

参照点B-IBI值分布的25%分位数为3.87,将其作为健康评价的标准,若样点的B-IBI值大于3.87,表明健康状况较好,并设定为I级,将小于25%分位数值值的分布范围4等分,划分不同的评价等级(表6)。

2.2 B-IBI对东江河流的健康评价

由表7可知,全流域24个采样点达到“健康”和“亚健康”水平的占29.2%，“一般”的占29.2%，“差”和“极差”的占41.6%。

东江流域中,干流水质上游相对下游较好(表7),仅上游的车田水的水质较差,调查显示,在该样点周边人为活动较强,可能是造成其水质差的一个因素。支流中,水质相对清洁的为增江上游河段、浏江、康禾河、鱼潭江、秋香江;水质一般的为增江中游段、新丰江;而水质较差的支流为沙河、西福河、公庄河;水质极差即受到严重污染的为淡水河、石马河、增江下游河段。总体而言,东江流域上游河段的水质优于下游,河流水质整体处于中等状态。

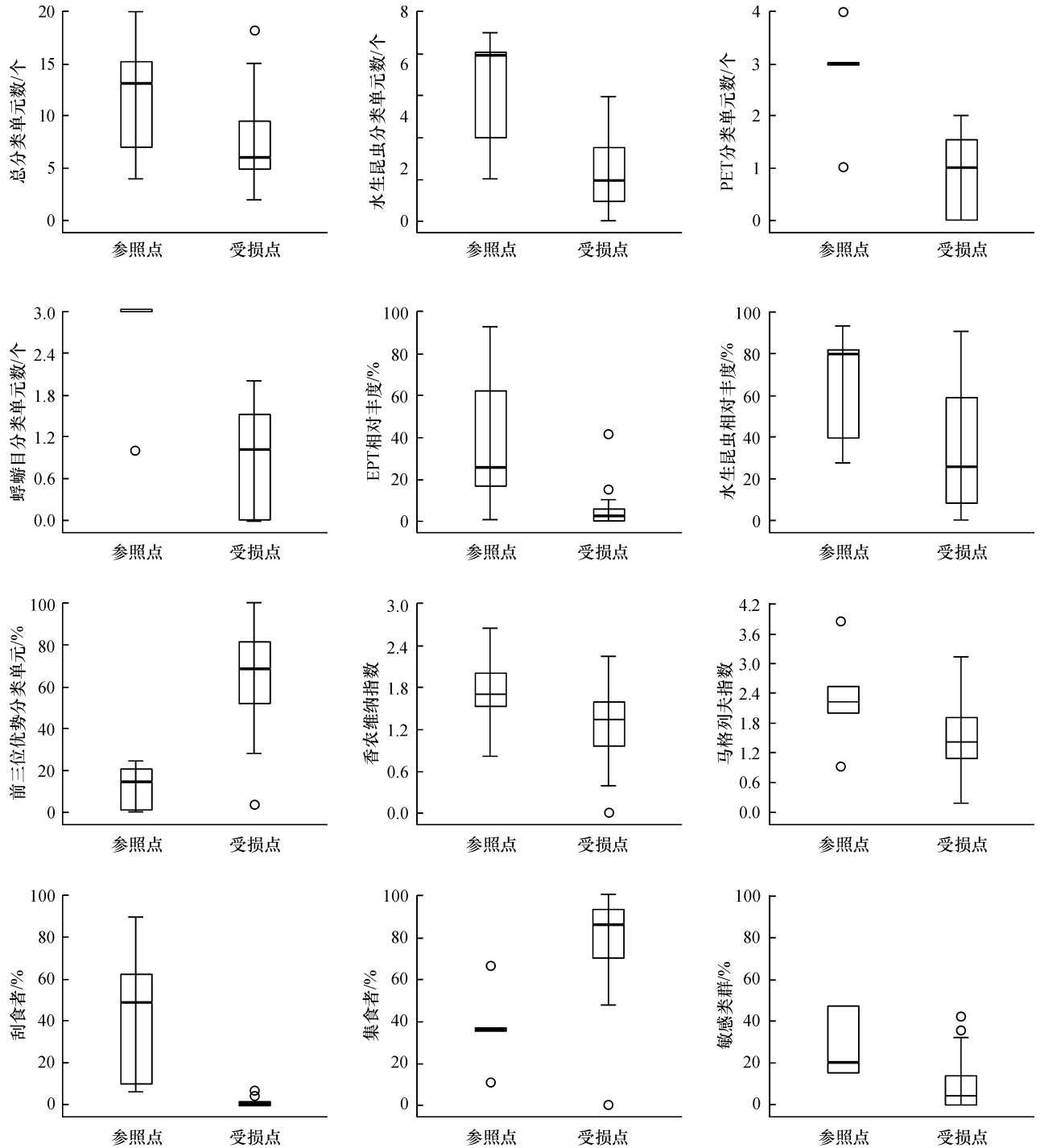


图 2 生物参数在参照点与受损点中分布的箱线图
Figure 2 Boxplots of attributes in reference and impaired sites

3 讨论

3.1 B-IBI 评价结果的影响因素

3.1.1 参照点和受损点的选取 参照点的选取是 B-IBI 体系构建中的关键内容. 实际中, 由于没有不受人干扰或处于自然状态下的健康河流, 并且不

同研究水体的区域环境及地理条件均存在一定的差异, 致使至今无统一标准, 在此情况下, 可根据样点的历史数据、古生态数据、定量模型及专家判断来定义参照点. 通常多依据水质、生境及土地利用状况等来预先制定参照点的选取标准, 然后根据标准确定参照点和受损点^[19]. 然而, 也有学者是根据不同的生物指数确定参照点和受损点^[20]. 在研究过程中,

表 5 6 个核心参数及比值法计算公式

Table 5 Formulas of calculating the six core attributes by the ratio scoring method

序号	参数	对干扰增加的 预期响应	计算公式
M ₁	总分类单元数	下降	M ₁ /15.45
M ₃	EPT 分类单元数	下降	M ₃ /3
M ₈	EPT 相对丰度%	下降	M ₈ /44.09
M ₁₄	前三位优势分类单元%	上升	(100 - M ₁₄)/(100 - 3.03)
M ₂₀	刮食者%	下降	M ₂₀ /50.51
M ₂₂	集食者%	上升	(100 - M ₂₂)/(100 - 17.19)

所采用的标准不同,确定的参照点有所差异,对最终的评价结果会有一些影响.此外,参照点数量对评价结果的准确度也有影响,数目越多, B-IBI 的灵敏性越高^[21].本研究主要是通过样点的理化参数计算

表 7 东江流域各样点 B-IBI 评价结果

Table 7 B-IBI result of each sample site in Dongjiang Watershed

参照点			受损点			受损点		
编号	B-IBI 值	评价等级	编号	B-IBI 值	评价等级	编号	B-IBI 值	评价等级
D ₃	3.83	II	D ₁	2.40	III	D ₁₆	2.13	III
D ₄	4.10	I	D ₂	1.47	IV	D ₁₇	2.02	III
D ₅	2.83	III	D ₈	2.90	II	D ₁₈	0.13	V
D ₆	6.45	I	D ₉	3.19	II	D ₁₉	0.88	V
D ₇	3.97	I	D ₁₀	1.20	IV	D ₂₀	1.21	IV
D ₁₂	7.24	I	D ₁₁	1.17	IV	D ₂₁	1.22	IV
			D ₁₃	2.23	III	D ₂₂	1.58	IV
			D ₁₄	1.93	III	D ₂₃	2.22	III
			D ₁₅	1.62	IV	D ₂₄	0.88	V

3.1.2 候选参数的确定 底栖动物作为指示生物已被广泛用于河流健康评估中,主要因其能对环境干扰有较好地响应,因此 B-IBI 体系中核心参数的确定显得尤为重要. B-IBI 的构建首先需确定候选参数,然后筛选参数,最后确立评估标准.而在筛选过程中,研究者们的一贯做法是对候选参数进行分布范围、判别能力及相关性分析,最终筛选出 6~8 个核心参数来构建 B-IBI.针对不同研究区域和不同研究方法,最后所确定的 B-IBI 组成参数会出现一定差异.本研究主要是根据东江样品鉴定结果的实际情况,选取了 4 种类型的生物参数作为候选参数,并按常规思路进行参数筛选,最终确定了 6 个核心参数.许多研究表明总分类单元数、EPT 分类单元数和 EPT% 作为 B-IBI 的组成参数较为稳定可靠^[22].这是因为总分类单元包括了样点中所有类群的生物信息,体现了底栖动物的多样性;组成 EPT 分类单元

表 6 基于 B-IBI 的东江流域健康评价标准

Table 6 Assessment criteria for B-IBI in Dongjiang Watershed

指标	健康描述				
	健康	亚健康	一般	差	极差
健康等级	I	II	III	IV	V
B-IBI 值	>3.87	2.90 - 3.87	1.93 - 2.90	0.97 - 1.93	<0.97

综合污染指数值来划分参照点和受损点,未结合栖境等指标进行评判,结果表明(表 7),大部分参照点和受损点都能较明显地区分开来,然而仍有少数样点的评价结果未能准确区分,表明参照点的选取仍需要改进.此外,本研究所选取的参照点较少,可能与样点数少有关,建议在进一步的研究中多设置样点,并结合历史数据,以提高评价结果的准确性和可信度.

的蜉蝣目、襁翅目和毛翅目都是对环境干扰敏感类群,能根据退化水平明显地区分样点.同时,王备新等^[18]也得出了前三位优势分类单元% 是一个理想的构建参数;TRIGAL 等^[23]所构建的 B-IBI 中也包括集食者相对丰度.然而,卢东琪等^[24]、LEWIS 等^[25]、苏玉等^[26]分别认为生物指数、敏感类群和耐污类群是 B-IBI 构建的理想指标,但在本研究中,与耐污值相关的参数均未入选,这可能与某些分类单元耐污值的不明确性或地区的不适用性有关.由于我国对底栖动物耐污值的研究起步较晚,大多是借鉴其他国家已有的或我国初步建立的某些类群的耐污值.耐污值的确定可通过“专家观点”的方法计算,但需要大量的样本数据、明确的样本来源及全面的水质级别划分^[16].尽管分布于不同动物地理区的同类群的底栖动物,在环境条件相似时,耐污能力通常相近,但也有少数种类不免会因对区域的长期适

应性而出现差异.因此,为提高 B-IBI 评价结果的可靠性,需建立一套适用于华南地区的底栖动物耐污值.

3.1.3 B-IBI 评价标准的影响 目前,IBI 研究中应用较多的指数综合方法有 1、3、5 赋值法、连续赋值法和比值法^[8].通常根据对河流健康状况的不同期望,选择不同的计算方法.然而,单独给参数赋值可能会掩盖由强制分值在一个或其他分离区间中所引起的微小差异,可能会降低 IBI 判别生态状况等级的能力;连续赋值尽管能避免单独赋分中的主观性(如假设样点的分值在较高的范围变化,都属于“好”的状态,在低值范围内波动,则都属于“差”),但需要充分考虑如何给每个参数设置最高值和最低值^[27].比值法则没有这样的缺陷,准确度也相对较高,是国外水生态学者目前常用的方法^[28].因此,本研究采用比值法计算核心参数的分值,然后累加各个参数分值得到各样点的 B-IBI 值.当然,也不乏学者同时采用 3 种方法,进行比较,选出适合其研究区域的最佳参数综合方法^[28].

B-IBI 建立后,如何确立评估标准,尚缺乏统一标准,学者通常多依照自身偏好及数据的实际分布状况采取不同的方法.但选用哪些数据(所有样点或参照点)来计算或者选取哪个百分位数值作为健康标准,对评价结果都有一定的影响.本研究以参照点 IBI 值分布的 25% 分位数作为健康评估阈值,综合确定了 5 个等级的划分标准.该评估标准基本涵盖了水生生态系统不同程度的健康状态,因此划分的等级数较为合理,可以区分东江流域中所筛选的分类单元水生生态系统健康状态之间的差异,然而这并非适用所有类型的水生生态系统,需结合研究实际情况.

3.2 B-IBI 方法在东江河流评估中的可行性

底栖无脊椎动物完整性指数的构建及其评价标准的建立需要有足够且具有代表性的样本数据作支撑,本文根据有限的有限的数据探讨了 B-IBI 评价东江流域河流健康的可能性,离实际应用还有一定的差距,然而本研究构建的 B-IBI 指数评价结果在总体趋势上与许多资料的研究报道相符合.江涛等^[29]根据 2001—2007 年东江干流中上游博罗站等的监测资料表明,东江中上游水质状况总体良好,但随着中上游地区经济的快速发展,其主要控制断面水质总体呈下降的趋势.王博等^[14]对东江设 43 个点位进行底栖动物调查,并结合多样性指数、Chandler 生物指数、生物学污染指数法对东江水质进行评价,结果表

明东江水体总体良好,部分区域出现不同程度的污染,且靠近源头(即寻乌水)的水质一般,而偏向增江上游河段的水质较好.

生物完整性被定义为“具有支撑和维持生物群落稳定、完整和适应性的能力,这些生物群落在区域内具有一定的种类组成、生物多样性和功能组群,相当于自然生境”^[30].生物环境来源于自然系统,是维持系统内化学、物理、生物组成和过程完整性的结果.生物栖息在自然环境中,由于它们的存在及生长状况会受到人类活动干扰的影响,因此无论其以个体还是群体生存,都能作为实际环境状况的指示种.生物指数(BI)是通过某个特定种或种群来探究水体的现状,而生物完整性指数(IBI)是在一系列参数中选择能够反映水环境中生物的种类组成、营养关系、丰度和生长状况的生物参数^[31].因此,IBI 旨在比 BI 传达更多的生态健康完整性信息.许多研究也证实了 IBI 比 BI 在一定程度上能有效地评价河流的健康状况.最初的 IBI 研究是针对鱼类,用以监测流动的水体(河流和溪流),随后由于底栖无脊椎动物相对于鱼类有采样容易等优点而被广泛应用.因此,本研究采用底栖无脊椎动物完整性指数评价东江流域的河流健康状况,从理论上是可行的,实际的结果也较好的反映东江的水体状况.

4 结论

根据采样数据及生物完整性的方法,构建了适用于东江的底栖无脊椎动物完整性指数,并对东江流域的主要干支流进行河流生态健康评价,结果显示:(1)全流域 24 个采样点达到“健康”和“亚健康”水平的占 29.2%，“一般”的占 29.2%，“差”和“极差”的占 41.6%；(2)在东江流域中,干流水质上游河段相对下游较好；(3)支流中,水质相对清洁的为增江上游河段、浏江、康禾河、鱼潭江、秋香江；水质一般的为增江中游段、新丰江；水质较差的为沙河、西福河、公庄河；水质极差即受到严重污染的为淡水河、石马河、增江下游河段.总之,东江流域上游河段的水质优于下游,河流水质整体处于中等状态.

参考文献:

- [1] KARR J R. Assessment of biotic integrity using fish communities[J]. Fisheries, 1981, 6: 22.
- [2] MILLER D I, HUGHES R M, KARR J R, et al. Regional application of an index of an biotic integrity for use

- in water resource management[J]. *Fisheries*, 1988, 13(5): 12-20.
- [3] SILVERA M P, BAPTISTA D F, BUSS D F, et al. Application of biological measures for stream integrity assessment in South-East Brazil[J]. *Environmental Monitoring & Assessment*, 2005, 101(1/2/3): 117-128.
- [4] OBERDORFF T, HUGHES R M. Modification of an index of biotic integrity based on fish assemblages to characterize rivers of the Seine Basin, France[J]. *Hydrobiologia*, 1992, 228(2): 117-130.
- [5] HERING D, MEIER C, RAWER-JOST C, et al. Assessing streams in Germany with benthic invertebrates; selection of candidate metrics[J]. *Limnological-Ecology and Management of Inland Waters*, 2004, 34(4): 398-415.
- [6] ROSSANO E M. Development of an index of biotic integrity for Japanese streams [D]. Seattle: University of Washington, 1995:1-25.
- [7] GANASAN V, HUGHES R M. Application of an index of biologic integrity (IBI) to fish assemblages of the rivers Khan and Kshipra (Madhya Pradesh), India[J]. *Freshwater Biology*, 1998, 40: 367-383.
- [8] 廖静秋, 黄艺. 应用生物完整性指数评价水生态系统健康的研究进展[J]. *应用生态学报*, 2013, 24(1): 296.
- LIAO J Q, HUANG Y. Research progress on using index of biological integrity to assess aquatic ecosystem health [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2013, 24(1): 296.
- [9] AURA C M, RABURU P O, HERRMANN J, et al. A preliminary macroinvertebrate index of biotic integrity for bioassessment of the Kipkaren and Sosiani Rivers, Nzoia River Basin, Kenya[J]. *Lake & Reservoirs Research & Management*, 2010, 15(2): 119-128.
- [10] 邓培雁, 雷远达, 刘威, 等. 七项河流附着硅藻指数在东江的适用性评估[J]. *生态学报*, 2012, 32(16): 5015.
- DENG P Y, LEI Y D, LIU W, et al. Exploration of benthic diatom indices to evaluate water quality in rivers in the Dongjiang basin[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(16): 5015.
- [11] 孟伟, 张远, 梁渠东, 等. 河流生态调查技术方法[M]. 北京: 科学出版社, 2011: 112-119.
- [12] TACHET H, RICHOUX P, BOURNAUD M, 等. 淡水无脊椎动物系统分类、生物及生态学[M]. 刘威, 王旭涛, 董少峰, 译. 北京: 中国水利水电出版社, 2015: 35-383.
- [13] 国家环境保护总局, 《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法[M]. 4版. 北京: 中国环境科学出版社, 2006: 88-284.
- [14] 王博, 刘全儒, 周云龙, 等. 东江干流底栖动物群落结构与水质生物学评价[J]. *水生态学杂志*, 2011, 32(5): 44.
- WANG B, LIU Q R, ZHOU Y L, et al. The community structure of zoobenthos and bioassessment of water quality of the Dongjiang river [J]. *Journal of Hydroecology*, 2011, 32(5): 44.
- [15] BARBOUR M T, GERRITSEN J, SNYDER B D, et al. Rapid bioassessment protocols for use in streams and Wadeable Rivers: periphyton, benthic macroinvertebrates and fish[M]. 2nd Ed. Washington D C: U. S. Environmental Protection Agency, 1999:35-37.
- [16] 王备新, 杨莲芳. 我国东部底栖无脊椎动物主要分类单元耐污值[J]. *生态学报*, 2004, 24(12): 2773-2775.
- WANG B X, YANG L F. A study on tolerance values of benthic macroinvertebrate taxa in eastern China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(12): 2773-2775.
- [17] WANG J, HUANG B, YANG M, et al. Tolerance values of benthic macroinvertebrates and bioassessment of water quality in the Lushan nature reserve[J]. *Chinese Journal of Applied & Environmental Biology*, 2003, 9(3): 284.
- [18] 王备新, 杨莲芳, 胡本进, 等. 应用底栖动物完整性指数 B-IBI 评价溪流健康[J]. *生态学报*, 2005, 25(6): 1483.
- 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 integrity[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(6): 1483.
- [19] REHN A C. Benthic macroinvertebrates as indicators of biological condition below hydropower dams slope Sierra Nevada streams, California, USA [J]. *River Research and Applications*, 2009, 25(2): 208-228.
- [20] 马陶武, 黄清辉, 王海, 等. 太湖水质评价中底栖动物综合生物指数的筛选及生物基准的确立[J]. *生态学报*, 2008, 28(3): 1192-1200.
- MA T W, HUANG Q H, WANG H, et al. The selection of benthic macroinvertebrate based multimetrics and preliminary establishment of biocriteria for the bioassessment of the water quality of Taihu Lake[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(3): 1192-1200.
- [21] HUGHES R M, LARSEN D P, OMEMIK J M. Regional reference sites: a method for assessing stream potentials [J]. *Environmental Management*, 1986, 10: 629-635.
- [22] BLOCKSOM K A, KURTENBACH J P, KLEMM D J, et

- al. Development and evaluation of the lake macroinvertebrate integrity for New Jersey lake and reservoirs[J]. *Environment Monitoring and Assessment*, 2002, 77(3): 311–333.
- [23] TRIGAL C, GAREIA-CRIADO F, FEMANDEZ-ALÁEZ C. Among-habitat and temporal variability of selected macroinvertebrate based metrics in a Mediterranean shallow lake (NW Spain) [J]. *Hydrobiologia*, 2006, 563(1): 371.
- [24] 卢东琪, 张勇, 蔡德所, 等. 基于干扰梯度的钦江流域底栖动物完整性指数候选参数筛选[J]. *环境科学*, 2013, 34(1): 142.
LU D Q, ZHANG Y, CAI D S, et al. Choice of macroinvertebrate metrics for constructing a benthic index of biotic integrity based on the disturbance gradients in the Qinjiang River basin [J]. *Environment Science*, 2013, 34(1): 142.
- [25] LEWIS P A, KLEMM D J, THEONY W T. Perspectives on use of multimetric lake bioassessment integrity index using benthic macroinvertebrate [J]. *Northeastern Naturalist*, 2001, 8(2): 241.
- [26] 苏玉, 曹晓峰, 黄艺. 应用底栖动物完整性指数评价滇池流域入湖河流生态系统健康[J]. *湖泊科学*, 2013, 25(1): 96.
SU Y, CAO X F, HUANG Y. Stream ecosystem health assessment of inflow rivers in Lake Dianchi catchment by using benthic integrity biotic index (B-IBI) [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2013, 25(1): 96.
- [27] VAN S J, HUFF D D, HAWKINS C P. Selecting discriminant function models for predicting the expected richness of aquatic macroinvertebrates [J]. *Freshwater Biology*, 2006, 51:370.
- [28] 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 [J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2002, 77:312.
- [29] 王建华, 田景汉, 吕宪国. 挠力流域河流的 B-IBI 评价 [J]. *生态学报*, 2009, 29(12): 6673–6680.
WANG J H, TIAN J H, LV X G. B-IBI assessment of streams in Naoli river watershed, China [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(12): 6672–6680.
- [30] 江涛, 张晓磊, 陈晓宏, 等. 东江中上游主要控制断面水质变化特征 [J]. *湖泊科学*, 2009, 21(6): 873–878.
JIANG T, ZHANG X L, CHEN X H, et al. The characteristics of water quality change for the main control sections in the middle and upper reaches of East River [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2009, 21(6): 873–878.
- [31] KARR J R, DUDLEY D R. Ecological perspective on water quality goals [J]. *Environmental Management*, 1981, 5(1): 56.
- [32] KARR J R, YODER C O. Biological assessment and criteria improve total maximum daily load decision making [J]. *Journal of Environmental Engineering*, 2004, 130(6): 596.

【中文责编:成文 英文责编:李海航】