

DOI: 10.3724/SP.J.1035.2011.00963

基于底栖生物完整性指数的赣江流域河流健康评价

张方方^{1,2,3} 张萌¹ 刘足根¹ 陈宏文¹ 齐述华²

(1. 江西省环境保护科学研究院, 南昌 330029; 2. 江西师范大学地理与环境学院, 南昌 330022;
3. 广州大学附属东江中学, 河源 517500)

摘要: 底栖生物完整性指数(B-IBI)是最为广泛应用的水生态系统健康评价指数之一。根据2009—2010年期间赣江流域60个采样点的底栖动物数据(15个参照点, 45个受损点), 对17个生物参数进行分布范围、判别能力和Pearson相关性分析, 确定了B-IBI指数体系由总分类单元数、甲壳和软体动物分类单元数、甲壳和软体动物%和BI指数构成。采用比值法统一各生物参数量纲, 将各个生物参数分值加和得到B-IBI指数值。根据参照点的B-IBI值的25%分位数值最终确定赣江流域河流健康评价标准。评价结果表明, 赣江流域60个采样点中19个为健康, 19个为亚健康, 14个为一般, 8个较差。综合来看, 赣江流域河流处于健康-亚健康状态: 上游各支流中绵水、贡江、上犹江和桃江为健康状态, 章水、濂水、梅江和平江为较差状态; 中游各支流健康评价结果多为健康-亚健康状态, 而乌江为较差状态; 下游各支流为健康-亚健康状态; 赣江干流上健康评价的结果均为健康。

关键词: 底栖生物完整性指数; 大型底栖动物; 河流健康评价; 赣江

中图分类号: Q178 文献标识码: A 文章编号: 1000-3207(2011)06-0963-09

河流生态系统是地球上最为复杂的生态系统之一, 它触及到自然环境所有部分, 且几乎与人类活动的各方面均存在直接或间接的联系^[1]。最早在20世纪初就有学者开始了河流生态学的研究。现今河流生态学中最具活力的领域之一就是生态系统健康研究^[2], 并且如何评价河流生态状况正成为河流生态学领域的研究热点^[3]和最具突破的领域之一^[4]。Karr^[5]首次以鱼类为研究对象建立了生物完整性指标(Index of biotic integrity, IBI), 评价了河流生态系统完整性; 之后有不少研究者分别在大型底栖无脊椎动物、藻类、浮游生物、鱼类和高等水生植物等水生生物类群中应用该指标^[6, 7]。大量研究已证明对河流生态系统健康的评价而言, 生物完整性的概念是较为适用的, 并被各国研究人员广为接受的。目前大型底栖生物的运用最为广泛。

底栖动物是水生态系统中最重要的定居动物代

表类群之一, 它影响着水生态系统中营养物质的分解与循环; 对环境变化反应敏感, 当水体受到污染时, 该生物类群的群落结构将发生明显变化, 目前是河流水质状况监测所惯用的一项重要指标^[8]。Kerans和Karr^[9]提出了基于底栖动物的完整性指数(B-IBI), 是目前应用最广泛的水生态系统健康评价指标之一。美国环保署建立了B-IBI操作规范, 对其境内的马里兰州、佛罗里达州、密苏里州等16个州进行了河流健康评价^[10]。我国在B-IBI研究方面起步较晚, 王备新等^[11]利用底栖动物分类单元数、EPT分类单元数、前3位优势分类单元个体相对丰度、黏附者个体相对丰度、敏感类群个体相对丰度和BI指数构成B-IBI指标体系, 评价了安徽黄山地区溪流健康状况, 这是我国首次对B-IBI指标体系构建进行研究。不少学者对赣江流域底栖动物的研究不少^[12], 但对河流健康方面的研究甚少。本文则

收稿日期: 2010-08-09; 修订日期: 2011-02-15

基金项目: 国家“十一五”重大科技专项(2008ZX07526-008); 江西师范大学研究生创新基金资助

作者简介: 张方方(1985—), 女, 江西南昌人; 硕士研究生; 研究方向为水生物、遥感应用。E-mail: qiguer0407@126.com

通讯作者: 刘足根(1975—), 男, 江西吉水人; 博士, 副研究员; 主要从事淡水生态学、流域环境生态学的研究。Tel: 0791-8326440;

E-mail: liuzugen2002@yahoo.com.cn

以长江水系的赣江流域为对象, 构建 B-IBI 评价指标体系, 评价赣江流域河流健康状况, 并分析了 B-IBI 值与水质的关系。

1 研究方法

1.1 研究区概况

赣江是江西省内第一大河流, 纵贯江西南北, 亦为入鄱阳湖五大河流之首, 长江八大支流之一。发源于石城县洋地乡石寮岽(赣源岽), 河口为永修县吴城镇望江亭, 主河道长 823 km, 流域面积 $8.3 \times 10^4 \text{ km}^2$, 约占全省总面积的 50%。流域内山地约占 50%, 丘陵约占 30%, 平原则约占 20%。赣江流域水系发达, 赣州市以上为上游, 由贡水和章水在此汇合成赣江, 为典型的辐射状水系, 属山区性河流, 多深涧溪流, 河道多弯曲, 落差较大; 自赣州市至新干县为中游, 干流河段长 303 km, 水流较为平缓, 部分穿切山丘间的河段则多急流险滩, 赣州至万安的 90 余 km, 因流经变质岩山区, 河床深邃, 水急滩险; 新干县以下为下游, 新干至吴城干流长 208 km, 西岸有袁河、锦江汇入, 河面宽阔, 两岸傍河筑有堤防。赣江流域属中亚热带湿润季风气候区, 气候温和, 雨量丰沛, 四季分明, 夏秋间晴热干燥, 冬季阴冷, 但霜冻期较短。流域多年平均降水量 1580.8 mm, 多年平均径流深与降水类似, 由 400 mm 增大到约 1200 mm。每年 4—6 月为主雨季, 暴雨集中形成洪水。下游控制站外洲站多年平均流量为 $2125 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

1.2 研究方法

底栖动物采集 2009—2010 年在赣江流域设置了 60 个采样点进行大型无脊椎动物的采集, 其中上游 12 个、中游 20 个和下游 28 个(图 1)。在非涉水性的急流河段的采样断面上采用改良式彼得生采泥器(开口面积为 0.025 m^2)采集底泥, 底泥样品用 40 目金属筛过滤部分底泥, 并在分样筛中冲洗掉污泥, 放入白瓷盘内挑取底栖动物, 用质量分数为 75% 酒精固定带回实验室, 按各断面所采到的底栖动物不同类别称重、计数, 最后换算成每平方米的底栖动物重量和个数。软体动物个体较大可用肉眼以工具直接鉴定, 对寡毛类和摇蚊幼虫用 Puris 胶透明做片子在显微镜下鉴定。对于可涉水性的上游支流的某些样点则采用如下方法: 将网径 40 目采样面积为 0.09 m^2 的索伯网放置于样点的河床, 先将网内

的大型石块仔细清洗, 使得石块上大型底栖动物随着水流进入索伯网内, 较大的石块挑拣完后, 利用铁铲搅动石块下方的底质, 搅动的深度大于 10 cm。依据各样点生境特点, 平均重复采集 2—3 次, 混装到同一个塑料袋中。带回实验站后将大型底栖动物捡出, 放入 65 mL 标本瓶中, 用 6%—10% 甲醛固定; 在解剖镜下鉴定^[12]、计数, 最后用吸水纸吸干底栖动物表面液体, 用万分之一天平(赛多力斯)称重(湿重)。物种标本根据中国动物志分类手册鉴定到种或者属, 少数物种采用其他分类资料尽量鉴定到科属^[12—17]。

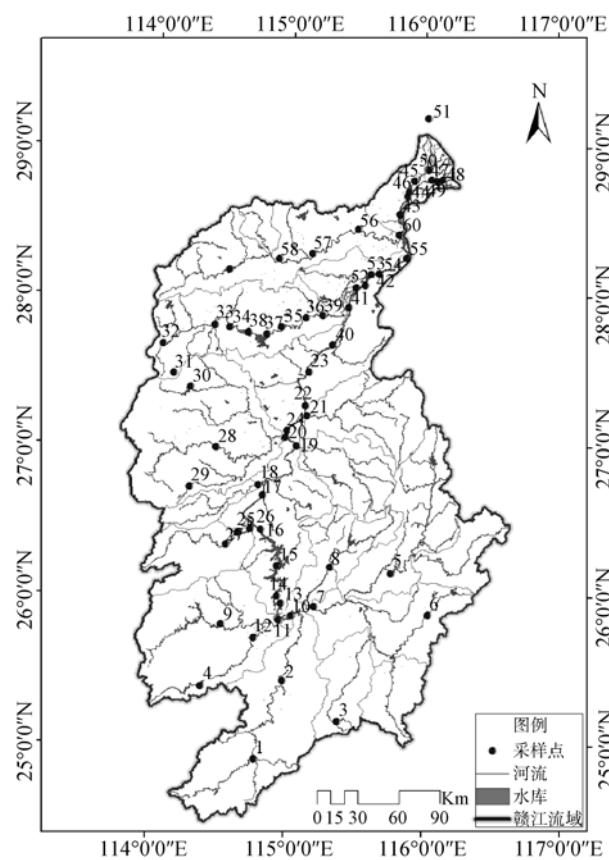


图 1 赣江流域采样点分布示意图
Fig. 1 The sketch of sampling sites in the reaches of Ganjiang River Basin

采样点划分标准 按采样点受人类活动干扰程度大小可分为无干扰样点、干扰极小样点和干扰样点, 其中无干扰样点和干扰极小样点作为指标筛选过程中的参照点, 干扰样点为受损点。本文选择水质低污染、低毒性并且可接受溶解氧, 样点附件无农田的站位作为参照点, 具有高污染或高毒性或不可接受溶解氧, 样点附件已明显受到人类活动干

扰的站位为受损点^[11,18]。按照以上原则,从60个采样点中最终确定了15个采样点作为参照点,其中包括6、7、16、17、18、22、23、27、28、29、30、40、42、44和53,其余45个采样点则为受损点。

候选生物指数选择 构建B-IBI评价指标体系的基本步骤包括:①提出候选生物参数;②通过对参数值的分布范围、判别能力和相关关系分析,建立评价指标体系;③确定每种生物参数值及IBI指数的计算方法;④确定底栖生物完整性的评分标准。

参考相关文献[19, 20],本文选用对干扰反应较敏感的17个候选生物参数(表1),其中M1、M2、M3、M4反映群落丰富度特征,M5、M6、M7、M8、M9、M10、M11反映群落种类个体组成比例,M12、M13、M14、M15反映生物耐污能力,M16、M17反映营养水平。

2 结果

2.1 B-IBI指数评价体系

生物参数分布范围分析 计算参照点各候选参数值的分布范围时,剔除以下2种参数:①随污染的增强,值的可变动范围比较窄,不适宜参与构建

B-IBI指标体系;②若指数值的标准差大,说明该值不稳定,也不适宜参与构建B-IBI指标体系。17个候选生物参数在15个参照点中的分布情况(表2),EPT分类单元数(M5)、摇蚊分类单元数(M6)、摇蚊%(M9)和敏感类群%(M13)的25%分位数、中位数和75%分位数均为0,说明随着污染的增强,其值的可变动范围非常窄,不适宜参与构建B-IBI指标体系。同理,颤蚓%(M10)、敏感类群分类单元数(M12)和捕食者%(M16)也不适宜参与构建B-IBI指标体系。余下10个参数可进行判别能力分析。

判别能力分析 根据Barbour的评价方法^[19],比较参照点和受损点的25%至75%分位数范围即箱体IQ的重叠情况,分别赋予不同的值:没有重叠,IQ=3;部分重叠,但各自中位数值都在对方箱体范围之外,IQ=2;仅一个中位数值在对方箱体范围内,IQ=1;各自中位数值都在对方箱体范围之内,IQ=0。只有IQ=2的参数才作进一步分析^[11]。在参与分析的10个生物参数中(图2),总分类单元数(M3)、甲壳和软体动物分类单元数(M4)、甲壳和软体动物%(M11)和BI指数(M15)的IQ=2,可以保留作进一步分析。

表1 候选生物参数及对干扰的反应
Tab. 1 Candidate metrics and their expected direction of response to disturbance

序号 Serial number	生物参数 Metrics	对干扰的反应 Response to disturbance
M1	多样性指数 Shannon-Wiener index	减小 Decrease
M2	丰富度指数 Margalef index	减小 Decrease
M3	总分类单元数 No. of total taxa	减小 Decrease
M4	甲壳和软体动物分类单元数 No. of (Crustacea+Mollusca)	减小 Decrease
M5	EPT 分类单位数 EPT taxa	减小 Decrease
M6	摇蚊分类单元数 No. of chironomidae taxa	减小 Decrease
M7	优势单元% Dominant taxa %	增大 Increase
M8	前3位优势分类单元% Three dominant taxa %	增大 Increase
M9	摇蚊% Chironomidae %	增大 Increase
M10	颤蚓% Tubifex %	增大 Increase
M11	甲壳和软体动物% (Crustacea+Mollusca) %	减小 Decrease
M12	敏感类群分类单元数 Intolerant taxa	减小 Decrease
M13	敏感类群% Intolerant taxa %	减小 Decrease
M14	耐污类群% Tolerant taxa %	增大 Increase
M15	BI 指数 Biotic Index	增大 Increase
M16	捕食者% Predator %	增大 Increase
M17	滤食者% Ephemeroptera %	减小 Decrease

表 2 17 个生物参数值在参照点中的分布范围
Tab. 2 Distribution of 17 biological metrics in reference sites

生物参数 Metrics	平均值 Average	标准差 SD	最小值 Minimum	最大值 Maximum	25% 分位数 25% Quantile	中位数 Median	75% 分位数 75% Quantile
M1	1.39	0.56	0.56	2.25	0.92	1.30	1.94
M2	2.02	0.94	0.73	3.2	1.26	1.62	2.86
M3	9.4	4.05	5	20	6.5	9	11
M4	7.8	3.88	1	15	5	7	10
M5	0	0	0	0	0	0	0
M6	0.13	0.35	0	1	0	0	0
M7	0.63	0.34	0	0.97	0.46	0.70	0.89
M8	0.37	0.34	0	0.96	0.10	0.23	0.68
M9	0.01	0.02	0	0.07	0	0	0
M10	0.04	0.10	0	0.36	0	0	0.01
M11	0.90	0.27	0.01	1	0.98	1	1
M12	0.27	0.46	0	1	0	0	0.5
M13	0.01	0.04	0	0.13	0	0	0
M14	0.76	0.26	0.26	1	0.71	0.89	0.96
M15	4.92	1.34	3.32	8.04	4.41	4.64	4.95
M16	0.05	0.20	0	0.76	0	0	0.003
M17	0.38	0.34	0	0.97	0.10	0.30	0.61

相关性分析 对经过判别能力分析余下的 2 个参数进行正态分布检验和 Pearson 相关分析。正态分布检验构成 B-IBI 指标体系的每个生物指数都至少能提供一个新的信息，而不是重复的信息；根据 Pearson 相关性确定生物参数间的信息重叠程度，取其中一个参数即可。对生物参数进行计分的目的是为了统一评价量纲。

结果表明，4 个生物参数均符合正态分布(表 3)。在这 4 个生物参数中，反映群落丰富度特征的有总分类单元数和甲壳和软体动物分类单元数，二者相关性显著，但由于反映的信息不同，故都保留；反映种类个体数量比例和反映生物耐污能力的参数分别只有甲壳和软体动物% 和 BI 指数，故予以保留。根据以上生物参数的筛选方法，最终确定 B-IBI 的指数构成体系为：总分类单元数、甲壳和软体动物分类单元数、甲壳和软体动物% 和 BI 指数。

分值计算 比值法是最常用的对生物指数计分的方法。本文亦采用比值法^[21]计算生物指数值：对于受干扰越强而值越低的生物指数，以 95% 分位数为最佳期望值，各参数的分值等于参数实际值除以最佳期望值；对于受干扰越强而值越高的指数，

则以 5% 分位数为最佳期望值，计算方法为：(最大值—实际值)/(最大值—最佳期望值)。根据各参数值在所有样点中的分布，确定计算各参数分值的比值法计算公式(表 4)，并依此计算各样点的指数分值，要求计算后分值的分布范围为 0—1，若大于 1，则记为 1。

B-IBI 指标体系的评价标准 将各指标的分值进行加和，得到 B-IBI 的指数值。以参照点 B-IBI 值分布的 25% 分位数值作为健康评价的标准，对小于 25% 分位数值的分布范围进行 4 等分，确定了赣江的 B-IBI 指数值的评价标准(表 5)。

2.2 河流健康评价

根据表 5 的评价标准对赣江流域的 60 个采样点的水体健康状况进行初步评价，结果表明，在 60 个采样点中，19 个为健康，19 个为亚健康，14 个为一般，8 个较差，无极差点；各采样点的水质状况均较好，多在 III 以上，其中 45# 西河、46# 八一桥、47# 滦差和 48# 吉里的水质较差，均为 IV 类水(表 6)，但 B-IBI 评价结果分别为亚健康、健康、亚健康和亚健康。此 4 点底栖动物总类较多，故 B-IBI 评价结果较好。总体来说(表 7)，赣江流域河流处于健康和亚健康状态：上游各支流中绵水、贡江、上犹江和桃江为健康状

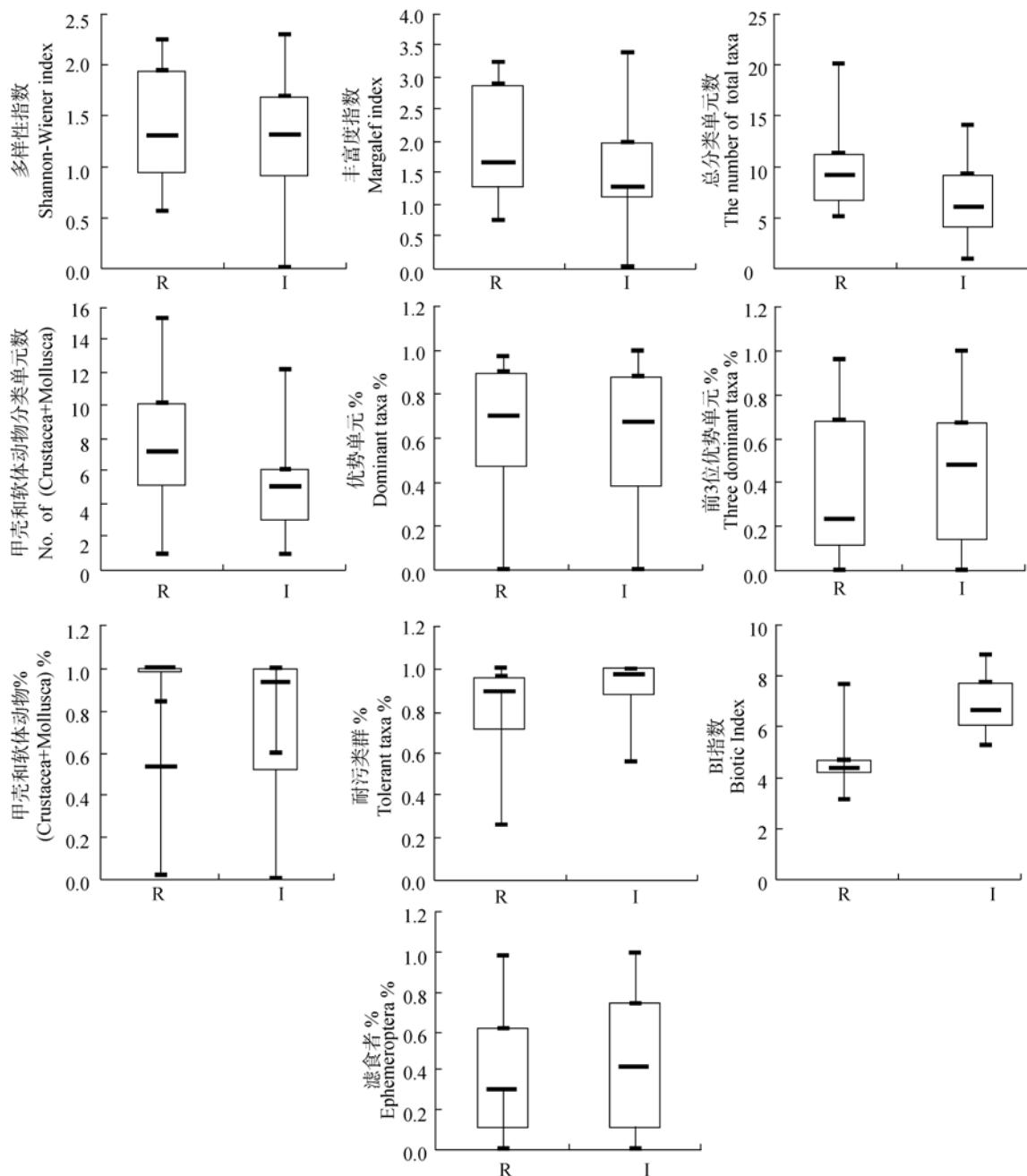


图2 十个候选生物参数在参照点和受损点的箱线图

Fig. 2 Box plots of 10 candidate metrics between reference and impaired sites
R: 参照点; I: 受损点 R: Reference sites; I: Impaired sites

态, 章水、濂水、梅江和平江为较差状态; 中游支流中禾泸江、蜀水、遂川江和牛吼江为健康状态, 孤江和泸江为亚健康状态, 乌江较差; 下游支流中湘江和锦江为健康状态, 袁河为亚健康状态; 赣江干流上健康评价的结果均为健康。

3 讨论

(1)本文首先提出 17 个候选生物指数, 通过进

行分布范围、判别能力和相关性分析等筛选过程, 最终确定了赣江流域 B-IBI 指数体系由总分类单元数、甲壳和软体动物分类单元数、甲壳和软体动物% 和 BI 指数构成。

(2)赣江流域 B-IBI 指数评价结果显示, 60 个采样点中 38 个达到了健康和亚健康状况, 主要分布在赣江干流和干支流交汇处; 14 个一般和 8 个较差点, 主要分布在部分支流。赣江各采样点的水质均较好,

表 3 四个候选生物参数间的 Pearson 相关分析结果
Tab. 3 The correlation of Pearson on matrix of 4 candidate metrics

	M3	M4	M11	M15
M3	1			
M4	0.96	1		
M11	0.51	0.71	1	
M15	0.98	0.94	0.56	1

注: M3. 总分类单元数; M4. 甲壳和软体动物分类单元数;
M11. 甲壳和软体动物%; M15. BI 指数

Note: M3. No. of total taxa; M4. No. of (Crustacea+Mollusca); M11. (Crustacea+Mollusca) %; M15. Biotic Index

表 4 比值法计算 3 个参数分值的公式
Tab. 4 Formulas for calculating 3 metrics scores by ratio scoring method

生物参数 Metrics	分值计算公式 Equations for scores
总分类单元数	总分类单元数/13
No. of total taxa	No. of total taxa/13
甲壳和软体动物分类单元数	甲壳和软体动物分类单元数/11
No. of (Crustacea+Mollusca)	No. of (Crustacea+Mollusca)/11
甲壳和软体动物%	甲壳和软体动物%/1
(Crustacea+Mollusca) %	(Crustacea+Mollusca) %/1 (9.18-BI)/(9.18-3.46)
BI 指数 Biotic Index	

表 5 赣江流域 B-IBI 健康评价标准
Tab. 5 Criteria of health assessment of B-IBI for Ganjiang River Basin

健康 Health	亚健康 Sub-health	一般 Good-fair	较差 Fair	极差 Poor
>2.69	2.02—2.69	1.35—2.02	0.67—1.35	0—0.67

多在 III 以上, 与 B-IBI 评价结果大部分一致。总体来说, 赣江流域河流处于健康和亚健康状态: 上游各支流中绵水、贡江、上犹江和桃江为健康状态, 章水、濂水、梅江和平江为较差状态; 中游各支流健康评价结果多为健康和亚健康状态, 乌江较差; 下游各支流为健康和亚健康状态; 赣江干流上健康评价的结果均为健康。

由于赣江流域范围较大, 样点来自多个相邻生态区, 其受人类干扰历史和范围程度不同; 而使用的底栖动物评价标准却是一样的, 故对评价结果有一定的影响。参照点是制定标准的关键性因素之一, 原则上要选择未受人类干扰或干扰极小的样点, 但在实际操作中并没有统一的标准; 参照点的多少也会影响评价结果的准确性, 点数越多, 评价结果的准确性越高。本文所建议的水质低污染、低毒性并且可接受溶解氧, 样点附件无农田的样点为参照点, 考虑到了水体理化指标, 但人类干扰历史和范围程度的信息不足; 本文选择的参照点数太少, 导致 B-IBI 健康评价标准与其他成果存在差异。张远等^[20]认为底栖生物完整性指数与水质、栖息地质量具有显著相关性, 但本文结果与其有不同之处, 故仍然需要进行长时间序列的观测和研究来检验。

表 6 赣江流域各采样点 B-IBI 评价结果
Tab. 6 B-IBI results for each sampling sites in Ganjiang River Basin

站点 Sites	点位性质 Site quality	分值 Score	健康状况 State of health	水质类别 Water quality grade	栖境质量 Habitat score
1	受损点	2.79	健康	III	67.70
2	受损点	1.53	一般	II	68.05
3	受损点	1.04	较差	II	63.01
4	受损点	1.07	较差	III	62.11
5	受损点	0.86	较差	II	58.75
6	参照点	3.41	健康	II	60.93
7	参照点	2.72	健康	II	67.44
8	受损点	0.84	较差	II	63.20
9	受损点	2.35	亚健康	II	61.38
10	受损点	3.26	健康	III	58.92
11	受损点	2.50	亚健康	II	52.62
12	受损点	1.55	一般	III	54.87
13	受损点	1.78	一般	III	53.94
14	受损点	3.10	健康	III	58.47
15	受损点	1.93	一般	III	54.98
16	参照点	3.34	健康	III	61.74

续表

站点 Sites	点位性质 Site quality	分值 Score	健康状况 State of health	水质类别 Water quality grade	栖境质量 Habitat score
17	参照点	3.14	健康	III	56.06
18	参照点	3.64	健康	III	62.33
19	受损点	2.00	一般	III	64.21
20	受损点	3.22	健康	III	64.65
21	受损点	1.20	较差	III	63.05
22	参照点	3.72	健康	III	65.95
23	参照点	3.32	健康	III	59.79
24	受损点	2.57	亚健康	III	62.69
25	受损点	2.28	亚健康	III	63.26
26	受损点	3.60	健康	II	63.76
27	参照点	2.84	健康	II	64.86
28	参照点	3.75	健康	III	63.34
29	参照点	2.09	亚健康	II	53.84
30	参照点	1.51	一般	III	62.69
31	受损点	1.07	较差	II	76.26
32	受损点	2.58	亚健康	III	67.75
33	受损点	1.64	一般	III	58.31
34	受损点	1.41	一般	III	58.86
35	受损点	1.98	一般	III	60.64
36	受损点	2.22	亚健康	III	66.01
37	受损点	1.46	一般	III	70.05
38	受损点	1.12	较差	II	64.96
39	受损点	2.09	亚健康	III	63.91
40	参照点	2.63	亚健康	III	57.36
41	受损点	2.57	亚健康	III	56.71
42	参照点	2.67	亚健康	III	59.91
43	受损点	2.81	健康	III	56.22
44	参照点	3.12	健康	III	52.31
45	受损点	2.60	亚健康	IV	54.27
46	受损点	3.10	健康	IV	53.32
47	受损点	2.12	亚健康	IV	48.12
48	受损点	2.15	亚健康	IV	52.61
49	受损点	2.70	亚健康	III	59.43
50	受损点	1.84	一般	III	64.00
51	受损点	2.59	亚健康	II	62.34
52	受损点	2.30	亚健康	III	61.94
53	参照点	2.81	健康	III	53.41
54	受损点	2.00	一般	III	65.81
55	受损点	1.63	一般	III	60.60
56	受损点	2.99	健康	II	64.03
57	受损点	2.22	亚健康	III	61.19
58	受损点	2.48	亚健康	II	56.48
59	受损点	0.84	较差	III	73.87
60	受损点	1.84	一般	III	62.57

表 7 赣江流域各支干流 B-IBI 评价结果
Tab. 7 B-IBI results for mainstream and each tributaries of Ganjiang River Basin

采样点 Sites	桃江 TJ	濂水 LS	章水 ZS	梅江 MJ	绵水 MS	贡江 GJ	平江 PJ	上犹江 SYJ	遂川江 SCJ	禾泸江 HLJ	牛吼江 NHJ
健康评价指数 B-IBI	2.16	1.04	1.07	0.86	3.41	2.72	0.84	2.35	2.91	3.75	2.09
采样点 Sites	孤江 GJ	乌江 WJ	蜀水 SS	泸江 LJ	消江 XJ	袁河 YH	锦江 JJ	干流上 游 GUS	干流中 游 GMS	干流下 游 GDS	
健康评价指数 B-IBI	2.00	1.20	3.64	1.51	2.81	1.79	2.08	2.49	3.07	2.45	

赣江上游地区，多山地，多矿产，采矿业造成了该区严重的水土流失现象。省政府实行的“山江湖”治理工程，大大地减少了水土流失的面积，河流水质渐好，上游各支流的 B-IBI 指数也多为健康或亚健康状态。对赣江下游南昌段河道严禁滥采砂是改善水质的主要手段。支流袁河流域的水质较差是因为沿河有较多医药产业和重工业分布。对企业排放的废水要经过处理后才能排向河流。

参考文献:

- [1] Naiman R J, Bilby R E (Eds.). *River Ecology and Management* [M]. New York: Springer New York Inc. 2001, 169—199
- [2] Wang B X, Yang L F, Liu Z W. Index of biological integrity and its application in health assessment of aquatic ecosystem [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2006, **25**(6): 707—710 [王备新, 杨莲芳, 刘正文. 生物完整性指数与水生态系统健康评价. 生态学杂志, 2006, **25**(6): 707—710]
- [3] Tang T, Cai Q H, Liu J K. River ecosystem health and its assessment [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, **13**(9): 1191—1194 [唐涛, 蔡庆华, 刘建康. 河流生态系统健康及其评价. 应用生态学报, 2002, **13**(9): 1191—1194]
- [4] Shen Y F, Zhang Z S, Gong X J, et al. *Modern Biomonitoring Techniques Using Freshwater Microbiota* [M]. Beijing: China Architecture & Building Press. 1990, 1—524 [沈韫芬, 章宗涉, 龚循矩, 等. 微型生物监测新技术. 北京: 中国建筑工业出版社. 1990, 1—524]
- [5] Karr J R. Assessment of biotic integrity using fish communities [J]. *Fisheries*, 1981, **6**(6): 21—27
- [6] Yoon I B, Kong D S, Ryu J K. Studies on the biological evaluation of water quality by benthic macroinvertebrates-Saprobiic valency and indicative value [J]. *Korean Journal of Environmental Biology*, 1992, **10**(1): 24—39
- [7] Pei X J, Niu C J, Gao X, et al. The ecological health assessment of Liao River Basin, China, based on biotic integrity index of fish [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, **30**(21): 5736—5746 [裴雪娇, 牛翠娟, 高欣, 等. 应用鱼类完整性评价体系评价辽河流域健康. 生态学报, 2010, **30**(21): 5736—5746]
- [8] Wang Q, Wang H J, Cui Y D. Community characteristics of the macrozoobenthos and bioassessment of water quality in lake donghu disitrict, Wuhan [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2010, **34**(4): 739—746 [王琴, 王海军, 崔永德. 武汉东湖水网区底栖动物群落特征及其水质的生物学评价. 水生生物学报, 2010, **34**(4): 739—746]
- [9] Kerans B L, Karr J R. A benthic index of biotic integrity (B-IBI) for rivers of the Tennessee Valley [J]. *Ecological Applications*, 1994, **4**: 768—785
- [10] Barbour M T, Gerritsen J, Snyder B D, et al. *Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wade Able Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish* [M]. U. S. Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, D. C. 1999, 36—102
- [11] 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): 1481—1490 [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. 生态学报, 2005, **25**(6): 1481—1490]
- [12] Chen T H, Ouyang S, Xiong L F, et al. Studies on the population structure and reproductive traits of *Unio douglasiae* in Qinglan Lake, Jiangxi province [J]. 2010, **34**(3): 473—480 [陈堂华, 欧阳珊, 熊六凤, 等. 江西青岚湖圆顶珠蚌的种群结构及繁殖特征研究. 水生生物学报, 2010, **34**(3): 473—480]
- [13] Epler J H. Identification manual for the larval Chironomidae (Diptera) of North and South Carolina: EPA Grant#X 984170-97. 2001
- [14] Chen Y. *Chinese Animals' Maps-Annelida (Add: Myriapod)* [M]. Beijing: Science Press. 1959, 1—78 [陈义. 中国动物图谱—环节动物(附多足类). 北京: 科学出版社. 1959, 1—78]
- [15] Liu Y Y. *Chinese Freshwater Mollusks* [M]. Beijing: Science Press. 1979, 1—134 [刘月英. 中国淡水经济软体动物. 北京: 科学出版社. 1979, 1—134]
- [16] Tian L X. A review of the Chinese genus stenopsyche mclachlan (Trichoptera: Stemopsychidae) [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 1988, **31**(2): 194—202 [田立新. 中国的角石蛾属昆虫(毛翅目: 角石蛾科). 昆虫学报, 1988, **31**(2): 194—202]
- [17] Zheng L Y, Gui H. *Insect Classification* [M]. Nanjing: Nanjing Normal University Press. 1999, 21—50 [郑乐怡, 归鸿. 昆虫分类(上下). 南京: 南京师范大学出版社. 1999, 21—50]

50]

- [18] Zhou X W, Wang L P, Zheng B H, et al. Estuary health assessment using a benthic-index of biotic integrity in Yangtze estuary and its adjacent waters [J]. *Environmental Science*, 2009, **30**(1): 242—247 [周晓蔚, 王丽萍, 郑丙辉, 等. 基于底栖动物完整性指数的河口健康评价. 环境科学, 2009, 30(1): 242—247]
- [19] Barbour M T, Gerritsen J, Griffith G E, et al. A framework for biological criteria for Florida streams using benthic macroinvertebrates [J]. *Journal for the North American Benthological Society*, 1996, **15**(2): 185—211
- [20] Zhang Y, Xu C B, Ma X P, et al. Biotic integrity index and criteria of benthic organisms in Liao River Basin [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2007, **27**(6): 919—927 [张远, 徐成斌, 马溪平, 等. 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]
- [21] Blockson 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**: 311—333

A HEALTH ASSESSMENT USING A BENTHIC-INDEX OF BIOTIC INTEGRITY IN GANJIANG RIVER BASIN

ZHANG Fang-Fang^{1,2,3}, ZHANG Meng¹, LIU Zu-Gen¹, CHEN Hong-Wen¹ and QI Shu-Hua²

(1. Jiangxi Academy of Environmental Protection Sciences, Nanchang 330029, China;

2. School of Geography and Environment, Jiangxi Normal University, Nanchang 330022, China; 3. The Attached Dongjiang Middle School to Guangzhou University, Heyuan 517500, China)

Abstract: Benthic index of biotic integrity (B-IBI) is one of the most widely-used aquatic ecosystem health assessment indices. In the present study, benthic macroinvertebrates were sampled and collected from 60 stream sites in Ganjiang River basin during the period of 2009 to 2010, among which 15 sites were considered as reference sites and 45 impaired sites. Seventeen candidate metrics were selected for the establishment of B-IBI system, which were Shannon-Wiener index, Margalef index, Total number of taxa, (Crustacea+Mollusca) taxa, EPT taxa, Chironomidae taxa, Intolerant taxa, Dominant taxon %, Three dominant taxa %, Chironomidae %, Tubifex %, (Crustacea+Mollusca) %, Intolerant taxa %, Tolerant taxa %, Biotic Index, Predators % and Filterers %, respectively. The analyses of index value distribution, discrimination ability and Pearson correlation were then performed on these candidate metrics. After the analyses, four biological metrics, e.g. total number of taxa, (Crustacea+Mollusca) taxa, (Crustacea+Mollusca) % and Biotic Index were selected as the indicators of tolerance towards water pollution. B-IBI was obtained by summing up all these three indices after which were transformed into a uniform score by using the ratio scoring method. The criteria of health ranking were finally determined based on the 25% percentile of B-IBI value in reference sites. I-IBI values were assessed with these criteria, and results showed that among the 60 sites in Ganjiang River basin, 19 sites were health, 19 sub-health, 14 fair, 8 poor and no very poor. In the whole, rivers in Ganjiang River basin were in the state of health or sub-health. Tributaries were in health in its upstream such as Mianshui River, Gongjiang River, Shangyoujiang River and Taojiang River, while Zhangshui River, Lianshui River, Meijiang River and Pingjiang River were in the poor state; all most tributaries were in health or sub-health in the mid-stream except Wujiang River (poor); tributaries were also in health or sub-health in the downstream; main stream was in health through the river health assessment.

Key words: B-IBI; Macrozoobenthos; River health assessment; Ganjiang River