

大型底栖动物快速生物评价指数在城市河流生态评估中的应用

渠晓东^{1,2}, 陈 军³, 陈皓阳⁴, 张 敏², 彭文启^{1,2}, 朱 磊³, 雷 璇³

(1. 流域水循环模拟与调控国家重点实验室, 北京 100038;

2. 中国水利水电科学研究院, 北京 100038;

3. 中建生态环境集团有限公司, 北京 100037;

4. 华南农业大学, 广州 510642)

摘要: 为提供更加全面和有效的生态评估方法用以指导城市河流修复和保护, 2017 年 3-4 月选择深圳典型城市化区域河流, 设置 21 个监测样点, 开展大型底栖动物快速生物评价指数的适用性研究。分别选择生物多样性指数、群落结构指数、敏感性指数和耐污性指数, 在评估不同指数适用性的基础上, 筛选和构建用于城市河流健康评价的大型底栖动物快速生物评价综合指数。龙岗河大型底栖动物共采集到 28 科 43 种, 寡毛类是龙岗河的主要优势类群。基于底栖动物群落结构特征对 6 个大型底栖动物快速生物评估指数进行了比较和分析, 其中 3 种指数较适用于龙岗河城市河流健康评估。在考虑各参数离散度和相关性的前提下, 可选择物种数、寡毛类相对丰度和科级耐污生物指数(Family Biotic Index, FBI)构建综合指数用于深圳市河流快速生物评价。健康评价的结果表明龙岗河 2 个样点为“理想状态”, 6 个样点属于“亚健康”等级, 其余 13 个样点处于“不健康”和“病态”。我国城市河流的有机污染总体较重, 以大型底栖动物耐污类群或者敏感类群构建的快速生物评价指数能够较为灵敏地指示河流生态修复成效。

关键词: 大型底栖动物; 快速生物评价; 城市河流; 耐污性; 多参数方法

中图分类号: Q178.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-3075(2021)03-0014-09

大型底栖动物是河流生态系统的重要组成部分, 也是维系河流生态系统结构和功能的重要生物类群(Hynes, 1960), 大型底栖动物生物评价指数一直是生物评价中应用最广泛和最普遍的指数(Rosenberg et al, 1993; 池仕运等, 2012)。大型底栖动物快速评价方法是在传统底栖动物生物评价指数的基础上, 通过优化监测技术、降低分类单元要求、简化指数计算程序等方法, 发展形成的一种高效廉价的评估方法(Barbour et al, 1999), 与传统方法相比其优点主要体现在: 1) 低成本且科学有效的生物评估技术; 2) 便于长期和较大规模监测数据的比较; 3) 能够快速完成评估; 4) 结果便于公众和管理者理解(Barbour et al, 1999)。Ferraro 和 Cole(1995) 通过对比研究发现虽然降低分类要求会影响快速指数的敏感性, 但鉴定到“门、纲、目、属”比鉴定到“种”节约的费用比例分别为 95%、80%、55% 和 23%, 对

单个样点的评价时间可以从传统方法的 12 h 降低到 4 h 左右, 极大地提高了生物评估的成效。由于我国的生物监测与评价发展相对较晚, 快速生物评估指数更适合我国的河流管理(冷龙龙等, 2016), 而且大型底栖动物快速评价指数更便于非专业人员的学习和使用, 已经成为美国环保总署(EPA)重点推荐的河流健康评价方法之一(Barbour et al, 1999)。

快速生物评价指数分为 4 种主要的类型, 第 1 类是基于大型底栖动物有机污染物耐受特性的生物评价指数(Hilsenhoff, 1988)或者是基于底栖动物敏感性的生物评价指数(Hellawell, 1978; Armitage et al, 1983); 第 2 类通常为基于分类单元特征的指数, 如蜉蝣目+襁翅目+毛翅目(EPT)生物评价指数(Metzeling et al, 2006)、软体动物相对丰度、寡毛类相对丰度等; 第 3 类为生物多样性指数, 如物种数和各种生物多样性指数等; 第 4 类为功能摄食类群指数, 主要是基于群落所代表的功能群类型(Milner et al, 2006; Fore et al, 2007)。大型底栖动物快速生物评价指数既可以单独使用, 也可以构建综合指数用于河流健康评价, 并被广泛应用于北美、南美、欧洲、亚洲和非洲等多个国家和地区的自然河流健康评价中(Thorne et al, 1997; Ofenböck et al, 2004;

收稿日期: 2019-12-17 **修回日期:** 2020-04-26

基金项目: 龙岗河坪山河两河流域综合治理方案编制、坪山河干流综合整治及水质提升工程(CSCEC-PSH-2017-01)。

作者简介: 渠晓东, 1978 年生, 男, 博士, 正高级工程师, 主要研究方向为大型底栖动物生态学。E-mail: quxiaodong@iwahr.com

通信作者: 张敏。E-mail: zhangmin@iwahr.com

Velk et al, 2004; Morse et al, 2007; 冷龙龙等, 2016),但在城市河流评价的研究还不多见(王镜植, 2011)。

在城市河流中开展快速生物评价通常具有较大的难度。首先,城市河流相对于自然河流其污染负荷的强度较高,城市河流中大型底栖动物多以耐污物种成为绝对优势类群(熊春晖等,2015),许多常用的快速生物评估指数如 EPT 指数不适用于城市河流,且许多单因子评价指数的标准不适用于城市河流。其次,水污染、水文特征变化、栖息地破坏以及城市区域大规模不透水面积的增加,都是造成城市河流大型底栖动物退化的重要因素(王强等,2017),多胁迫因素影响下的大型底栖动物快速生物评价指数与环境压力往往呈现非线性关系,可能无法满足评估需求并指导生态修复。考虑到我国当前城市河流以高强度的有机污染为主要压力的现状(陈兴茹,2006),应该优先选择耐污型或者敏感型的快速生物评估指数,用于城市河流健康评价和城市河流管理应用(Barbour et al,1999),同时结合城市河流受多重人为活动压力影响的现状,还应该筛选生物多样性指数构建综合型的生物评估指数指导城市河流的生态保护和修复(Fierro et al,2018)。本研究选择我国南方典型城市河流深圳市龙岗河为研究区,分别选择生物多样性指数、群落结构指数、敏感性指数和耐污性指数,在评估不同指数适用性的基础上,筛选和构建用于城市河流健康评价的大型底栖动物快速生物评价综合指数,服务于我国城市河流管理与河长制管理等诸多需求。

1 研究方法

1.1 区域概况

深圳龙岗河属东江流域淡水河水系,流经惠州市后汇入东江一级支流西枝江,最后汇入东江。龙岗河干流(含梧桐山河)河长为 36.19 km,流域面积 364.4 km²。其中建成区的面积约占流域面积的 50%。流域雨量充沛,多年平均降雨量为 2 073.50 mm,但降雨季节分配不均,雨季集中于 4-9月,占全年降水量的 85%。2014 年全国人均 GDP 为 4.66 万元,而龙岗河流域人均 GDP 达到 9.11 万元,龙岗河流域受到深圳市城市开发与建设、流域内粗放式工业发展的影响,河流水系几乎全部渠道化,个别支流上游水环境质量相对较好,但龙岗河干流和主要支流中、下游的水环境质量总体较差,一方面是龙岗河流域内分布有大量污染企业,流

域内污染排放总体负荷较高;另一方面是个别龙岗河支流城中村依然存在未完全截污的排污口,污水处理设施不完善或运行效率低,个别企业甚至偷排,造成污染物集中入河,多数支流水质仍为劣 V 类,基于《2018 年度深圳市环境状况公报》,龙岗河交界断面西湖村的总氮和耗氧有机物浓度较高,总磷和氨氮超过地表水 V 类水标准。

1.2 大型底栖动物采样方法

为开展龙岗河大型底栖动物生物评价指数研究,2017 年 3-4 月在龙岗河干流和支流共设置了 21 个监测点(图 1)进行大型底栖动物生物监测。其中干流常规监测样点 4 个(葫芦围、低山村、吓陂、西湖村)、支流样点 17 个(西坑、梧桐山河、四联河、大康河上、大康河下、龙西河上、龙西河中、南约河、同乐河、丁山河、丁山河下、黄沙河东、黄沙河西、黄沙河上、黄沙河下、田坑水和田脚水)。

在采样点周边的 50 m 范围内,利用索伯网(Surber sampler,40 目,30 cm×30 cm)对大型底栖动物进行定量采集,采样时尽量涵盖各种生境,若河水较深,则在近岸处采集,每个样点设置 3~5 次重复采样。现场将底栖动物挑出,分别保存于 75%酒精的试管瓶中待检。样本带回实验室后,在解剖镜下进行分类鉴定并计数,所有标本到种或形态学种。然后对每个样点的标本进行称重(湿重),统计各样点的平均生物量。

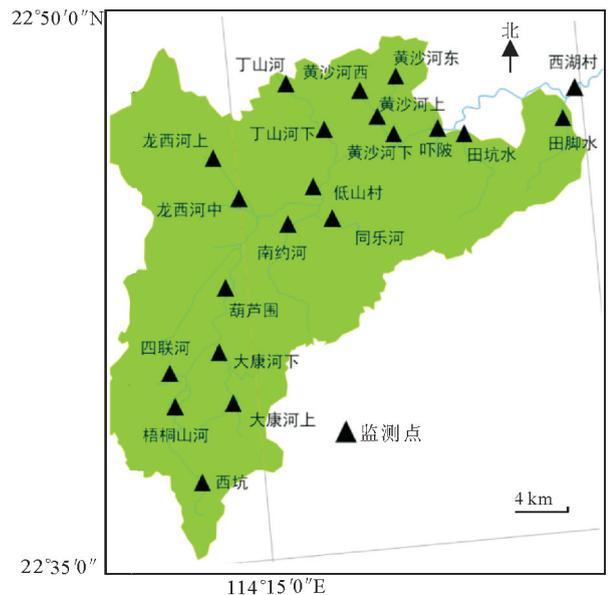


图 1 深圳市龙岗河流域大型底栖动物样点

Fig.1 Map of Longgang River with macroinvertebrate sample site locations

1.3 大型底栖动物快速生物评价指数筛选和构建

本次研究初步确定了3类大型底栖动物快速生物评价指数类型:1)生物多样性类型指数,包括了物种数、香农-威纳指数和 Berger-Parker 指数;2)群落结构类型指数,因自然河流中常见的蜉蝣目、毛翅目、襁翅目、蜻蜓目昆虫在城市河流中出现的频率和相对丰度较低,本研究中仅筛选了寡毛类相对丰度作为群落结构类型指数,其目的是通过水污染治理和生境治理,有效降低城市河流中耐污型寡毛类的相对丰度;3)耐污型和敏感型指数,考虑到相关指数的计算速度,本次筛选了需要鉴定到科级单位的 BMWP(Biological Monitoring Working Party)指数和 FBI 指数(表1)(王建国等,2003;王备新等,2004;赵瑞等,2015;张汲伟等,2018)。

在不同类型快速生物评价指数的基础上,还提出了快速生物综合评价指数,用于评估龙岗河河流健康状况:

$$\text{快速生物综合评价指数得分} = \frac{\sum_1^n P_n}{n} \quad \text{①}$$

表1 大型底栖动物单因子评价指数计算方法、原理及其标准化依据

Tab.1 Principle, history and calculation of select macroinvertebrate indices

单因子指数	计算方法	原理	指数标准化依据
物种数	计算某一监测点出现的所有物种之和	物种数的多寡指示了群落的多样性程度,通常人为活动压力越小,物种数越高	取所有监测点物种数分布范围的90%分位数为100,取所有监测点物种数分布范围的10%作为0
香农-威纳指数	$H = -\sum_{i=1}^S P_i \log P_i$ S为物种数, P_i 为第 <i>i</i> 个物种的相对丰度	描述群落中物种的多寡程度及其分布的均匀化状况,通常人为活动越强,指数越小。	$H' \geq 3$ 时基本为无污染状态,取其对应值为100,当 $H'=0$ 时,取其值为0(赵思琪等,2019)
Berger-Parker 指数	$BP = \frac{\ln d_D}{\ln d_T}$ $\ln d_D$ 为群落中最优势类群的个体数; $\ln d_T$ 为群落总个体数	最为优势的物种占总群落的个体数比例,受污染和人为活动扰动影响,群落通常会形成单一物种优势的群落,因此BP指数越高表明这种优势性越强,群落越不稳定。	$(1 - BP \text{ 指数}) \times 100$
寡毛类相对丰度	计算某一监测点出现的所有寡毛纲物种个体的相对丰度	寡毛类是重要的耐污类群和生境退化指示类群,其相对丰度越高通常代表污染强度越高、生境多样性越低	100-寡毛类相对丰度指数
BMWP 指数	$BMWP = \sum t_i$ t_i 是科 <i>i</i> 的BMWP的分数,通过比较检测值与预期值	基于科一级分类阶元上各物种的出现与否,考虑出现物种的敏感值,以所有出现物种敏感值之和代表环境的清洁。	$BMWP \geq 80$,取其对应值为100, $BMWP < 10$ 时,取其对应值为0。(耿世伟等,2012)
科级耐污指数(FBI)	$FBI = \sum n_i t_i / N$ n_i 是科 <i>i</i> 的个体数, t_i 是科 <i>i</i> 的耐污值, N 是总个体数	计算不同类群的相对丰度以及类群的耐污值乘积,既反映了群落的耐污特征,也反映了不同耐污类群的丰度	$FBI \leq 3.51$,取其对应值为100, $FBI = 10$ 时,取其对应值为0(耿世伟等,2012)

1.5 统计分析

生物评价指数的比较分析,主要采用箱线图表示其分布状况。考虑到龙岗河大型底栖动物的群落组成与河流状况具有密切关系,本次分析中将所有监测样点分为人为活动相对较小的参照点、上游支流样点、干流样点、中下游支流样点,箱线图采

式中: P_n 为第*n*个选定的单一评价指数的标准化得分值,其范围为0~100。

其中快速生物综合评价指数得分值采用单因子评价指数得分值的算术平均值,其范围为0~100,并在相关指数国内外研究的基础上,依据表1对其赋分计算,将单因子指数归一化后计算综合得分,并按等比法划分健康等级(表2)。

1.4 河流分类

龙岗河是东江流域淡水河的一条小型支流,支流相对短小,干流中上游属于可涉水型河流,而下游干流河段则属于不可涉水型河段。流域几乎全部受到深圳市龙岗区城市开发和建设的影响,除源头极少数河段外,其余河流水系渠道化较为普遍。在龙岗河河流健康评价过程中,进一步考虑了河流自然地貌属性特征,按照河流的宽度和水深,将其分为可涉水或不可涉水河流类型(Hawkins et al,2008),同时考虑自然水域岸线的保留率(Ligeiro et al,2013),对所有采样点进行分类(表3)。

用横线表示中位数,箱体表示25%~75%的分布范围,上下线表示分布的最大、最小范围,不同分组间的差异性采用单因素方法分析(ANOVA analysis)。不同生物评价指数之间的相关性分析,采用Spearman相关性检验,所有分析方法均采用R软件进行。

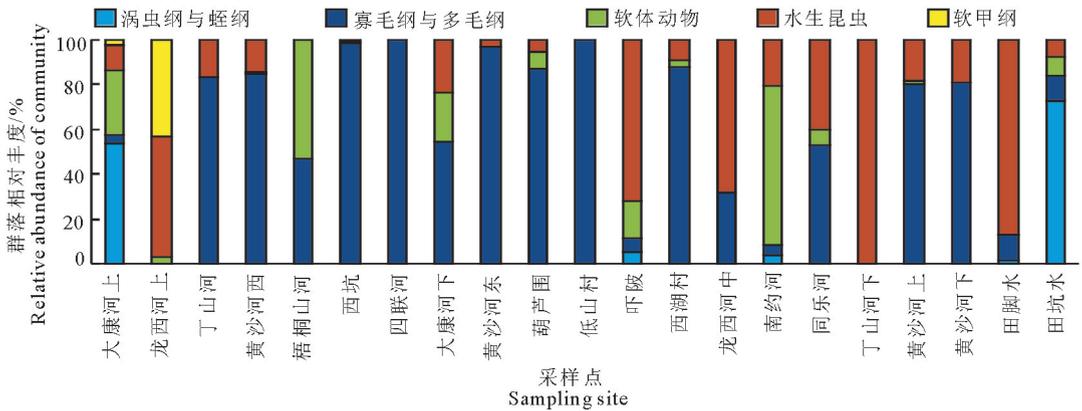


图3 监测采样点大型底栖动物群落构成

Fig.3 Taxa composition of macroinvertebrate community at different sampling sites

中大型底栖动物的物种数相对较高,寡毛类的相对丰度较低,香农-威纳多样性指数平均数最高,BP多样性指数相对较低,FBI指数2~8,具有较大的分布范围,BMWP指数平均数超过30。而上游支流和干流的6个指数之间的总体差异不明显(图4)。除上游维持了较好自然岸线的样点外,其他样点的物种数全部小于10(图4a)。寡毛类比例的平均数在支流中下游和上游渠道支流的比例均超过80%(图4b)。香农-威纳指数在各类型河流中的比例变化范围较广,在上游维持较好自然岸线的河段指数平均数高于1.5,其他河段的平均数在1.0左右,总体上偏低,表明龙岗河流域的大型底栖动物多样性总体较差(图4c)。与香农-威纳指数相比,BP指数总体上较高,即使在上游自然岸线维护较好的区域也达到0.60以上,其中B型河流的中位数接近1.0,表明单一优势类群在渠道化支流河段较为普遍(图4d)。耐污型指数FBI则指示了底栖动物在自然岸线维持较好的上游河段具有较广的分布状态,其样点从处于良好状态到污染状态皆有分布(图4e),而其他区域的样点几乎全部处于“差”和“极差”等级。BMWP指数也指示了较为相似的结果,上游参照点的BMWP得分总体上低于60分,没有样点得分达到100分,而干流河段的BMWP得分平均值最低仅稍高于10分(图4f)。

2.3 快速生物评价指数的相关性分析

相关性分析表明,各指数之间具有较为普遍的相关性(表4)。其中香农-威纳指数和BP指数的相关性最高,相关系数达到-0.936($P < 0.001$),表明龙岗河流域的大型底栖动物物种多样性主要受优势类群的限制和影响,这些区域中的优势类群的竞争作用直接降低了样点的物种丰度;其次物种数和BMWP指数的相关性也达到极显著正相关

($\rho = 0.833, P < 0.001$),这与BMWP总体得分较低,物种增加则相应得分增加关系密切;再次为寡毛类相对丰度和香农-威纳多样性指数($\rho = -0.723, P < 0.001$),表明龙岗河流域的生物多样性,与寡毛类相对丰度较高具有显著的负相关关系(表4)。普遍存在的相关关系,表明了各生物评价指数具有较强的一致性,都能够从不同层面指示河流的状况。

2.4 快速生物综合指数构建与河流健康评价

比较不同类型河流中的评价数值分布,发现 H' 生物多样性和BP生物多样性指数与其他指数相比,其分布范围较为集中,且不同类型河流间的差异性较小。同时结合不同指数的相关性分析,物种数和BMWP指数的相关性、 H' 生物多样性和BP生物多样性的相关性都比较高,因此最终选择物种数、寡毛类相对丰度和FBI指数构建大型底栖动物快速生物评估指数,分别代表水生生物多样性、群落结构特征和群落耐污性。其评估结果表明,按照健康等级的判定标准,仅大康河上和龙西河上总体属于“理想状态”,丁山河、吓陂、龙西河中、南约河、田脚水和田坑水6个样点属于“亚健康”等级,其余13个样点均处于“不健康”和“病态”等级(图5)。

3 讨论

城市河流的大型底栖动物群落构成与自然河流存在显著差异(张宇航等,2018),其中城市污水排放造成的河湖水体有机物污染是造成城市河流退化和生物多样性下降的重要因素(King et al,2011),本次调查结果表明,龙岗河大型底栖动物群落多样性总体较低,绝大多数样点的底栖动物物种数低于10种,且主要优势类群为耐受污染的寡毛类(图2和图3),表明当前龙岗河多数水系的有机污染物排放强度超过其承载力。近年来龙岗河的考核断面水质不

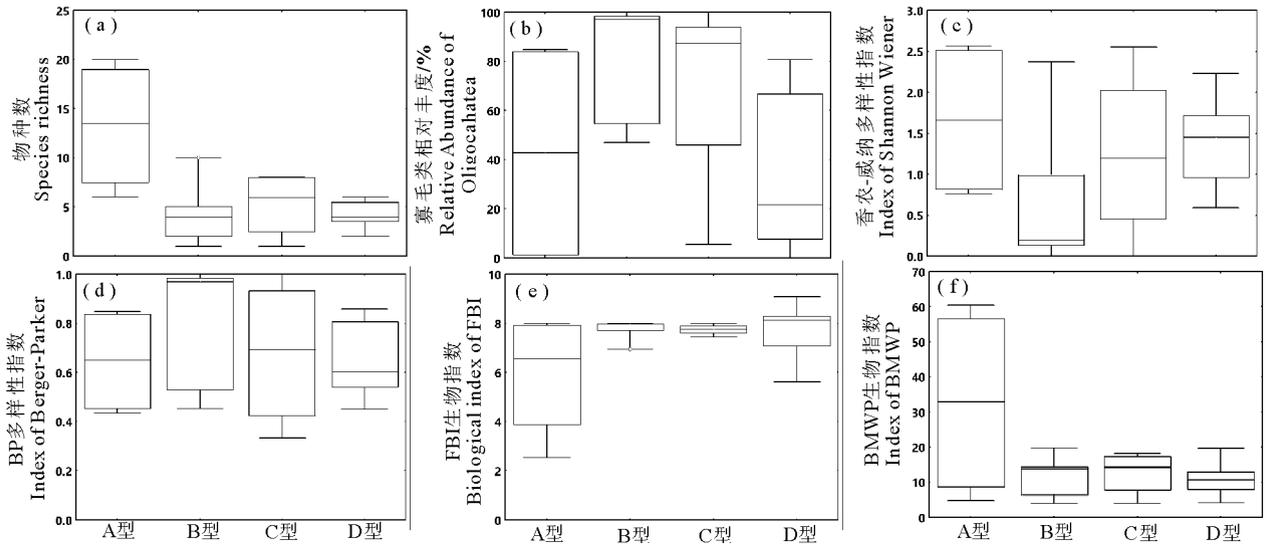


图4 大型底栖动物快速生物评价因子在不同河流类型中的分布特征

Fig.4 Distribution characteristics of different rapid bioassessment indices of macroinvertebrates in different river types

表4 大型底栖动物生物评价指数的相关性分析

Tab.4 Pearson correlations analysis among the macroinvertebrate bioassessment indices

评价指数	物种数	寡毛类相对丰度	H'	BP	FBI	BMWP
物种数	1					
寡毛类相对丰度	-0.380	1				
H'	0.645**	-0.723**	1			
BP	-0.532*	0.683**	-0.936**	1		
FBI	-0.511*	0.423	-0.539*	0.523*	1	
BMWP	0.833**	-0.354	0.646**	-0.559**	-0.589**	1

注: *表示在0.05水平上显著, **表示在0.01水平上显著。

Note: * significant correlation ($P < 0.05$), ** highly significant correlation ($P < 0.01$).

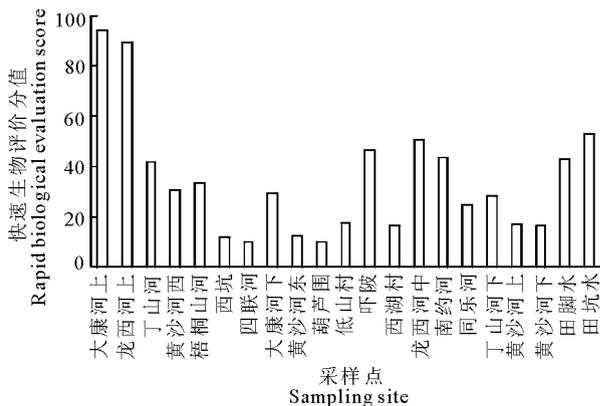


图5 基于大型底栖动物快速生物评价综合指数的龙岗河城市河流健康评价

Fig.5 River health assessment of Longgang River based on the integrated rapid biological indices of macroinvertebrates

污染程度远远超过大型底栖动物的耐受性。

大型底栖动物快速生物评价指数已经被广泛应用于河流健康评价、生态修复成效评估等(Barbour et al, 2006; Buss et al, 2010),但由于城市河流生态系统的严重退化,生物评价指数在城市河流评估中的应用及其对生态修复的指导,还需要加强研究。本次研究中根据龙岗河底栖动物群落特征,测试了6个常用的大型底栖动物快速生物评价指数,从不同类型河流的生物评价指数分布范围来看, H' 和BP指数的敏感性要远小于其他指数,BP指数主要考虑最优势类群的比例,当河流的受损强度较高,水生生物多样性和个体数较低的情况下,这个指标的指示作用可能会较差(Canobbio et al, 2013)。如果采用单因子评价方法进行龙岗河的城市河流评估,物种数、寡毛类相对丰度、FBI和BMPW指数能够单独识别受人为活动影响相对较小的区域(图4)。大型底栖动物物种数是最经常使用的评价因子,也是评估区域生物多样性状况的重要底栖动物指数,属于相对较容易获取的快速生物评价指标之一

断提高,2003-2005年氨氮超过地表水V类水标准的10倍,总磷超过地表水V类水标准3倍,到2018年基本接近V类水标准(李婧等,2019),但从底栖动物群落结构来看,龙岗河主要河流水系的有机物

(Pond et al, 2008)。寡毛类相对丰度是污染河流中常用的生物评价指数,其相对丰度越高通常代表污染强度越高、生境多样性越低,也是评估城市河流受人为活动影响常用的指示物种(Lafont, 1984)。但寡毛类相对丰度的增加,除了受到污染的影响,还与栖息地特征密切相关,因此其经常表现出较高的变异性(Kazanci et al, 1998)。BMWP和FBI指数属同一类型的指数,但二者之间还存在一定的差别,FBI指数不仅考虑了物种的耐污特性,也考虑了敏感和耐污型物种的相对丰度,提高了指数的敏感性和适用性(刘林峰等, 2018)。因此我们认为FBI用于城市河流的评估更加合适。

龙岗河大型底栖动物的生物快速评价研究(图5)表明,维持相对较好的水质条件,同时维持较高比例的自然水域岸线对于大型底栖动物生物多样性的保护具有重要作用(图5)。栖息地丧失是造成城市河流生态系统退化和生物多样性丧失的另一个重要因素(Kozlowski et al, 2013),在开展城市河流生态修复的过程中,治理水污染的同时还需要考虑逐步恢复水生生物的栖息地。城市河道多面衬砌和裁弯取直是造成栖息地类型单一化(Calderon et al, 2019),造成大型底栖动物群落退化的重要原因(图2和图3)。欧盟水框架和美国清洁水法都将河流生态保护的目標确定为维持“物理、化学和生物完整性”,在河流生态修复过程中,日韩等国均强调采用“近自然的修复模式”,都强调了河流自然水域岸线的重要性。在人口密集的大型城市河流种,如何协调城市安全与河湖生态系统完整性保护的矛盾,是当前我国城市水生态修复面临的重大难题。

参考文献

陈兴茹, 2006. 城市河流生态修复浅议[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 4(3): 226 - 231.

池仕运, 竺维佳, 施练东, 等, 2012. 应用底栖动物完整性指数评价水源地水库溪流健康状态[J]. 水生态学杂志, 33(2): 17 - 25.

耿世伟, 渠晓东, 张远, 等, 2013. 大型底栖动物生物评价指数比较与应用[J]. 环境科学, 33(7): 2281 - 2287.

冷龙, 渠晓东, 张海萍, 等, 2016. 不同大型底栖动物快速生物评价指数对河流水质指示比较[J]. 环境科学研究, 29(6): 819 - 828.

李婧, 陈纯兴, 2019. 深圳市龙岗河水污染问题与治理对策分析[J]. 江苏科技信息, 12: 13 - 15.

刘林峰, 潘超, 周驰, 等, 2018. 清江利川段底栖动物群落结构及水质生物学评价[J]. 水生态学杂志, 39(5): 39 - 46.

王备新, 杨莲芳, 2004. 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, 24(12): 2768 - 2755.

王建国, 黄恢柏, 杨明旭, 等, 2003. 庐山地区底栖大型无脊椎动物耐污值与水质生物学评价[J]. 应用与环境生物学报, 9(3): 279 - 284.

王镜植, 2011. 哈尔滨城市河道生态健康快速评价[D]. 哈尔滨: 东北师范大学: 28.

王强, 庞旭, 王志坚, 等, 2017. 城市化对河流大型底栖动物群落的影响研究进展[J]. 生态学报, 37(18): 6275 - 6288.

熊春晖, 张瑞雷, 徐玉萍, 等, 2015. 应用底栖动物完整性指数评价上海市河流健康[J]. 湖泊科学, 27(6): 1067 - 1078.

赵瑞, 高欣, 丁森, 等, 2015. 辽河流域大型底栖动物耐污值[J]. 生态学报, 35(14): 4797 - 4809.

赵思琪, 范垚城, 代嫣然, 等, 2019. 水体富营养化改善过程中浮游植物群落对非生物环境因子的响应: 以武汉东湖为例[J]. 湖泊科学, 31(5): 1310 - 1319.

张汲伟, 蔡琨, 于海燕, 等, 2018. 中国底栖动物水质生物监测指数和水质等级构建[J]. 中国环境监测, 34(6): 10 - 19.

张宇航, 张敏, 张海萍, 等, 2018. 北京河流大型底栖动物空间格局及其环境响应研究[J]. 生态毒理学报, 13(4): 101 - 110.

Armitage P D, Moss D, Wright J F, et al, 1983. The performance of a new biological water quality score system based on macroinvertebrates over a wide range of unpolluted running-water sites[J]. Water Research, 17(3): 333 - 347.

Barbour M T, Gerritsen J, Snyder B D, et al, 1999. Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers[M]. Washington: USEPA.

Barbour M T, Stribling J B, Verdonshot F M, 2006. The Multihabitat Approach of USEPA's Rapid Bioassessment Protocols: Benthic Macroinvertebrates[J]. Limnetica, 25(3): 839 - 850.

Buss D F, Vitorino A S, 2010. Rapid Bioassessment Protocols using benthic macroinvertebrates in Brazil: evaluation of taxonomic sufficiency. Journal of the North American Benthological Society, 29(2): 562 - 571.

Calderon M R, Almeida C A, González P, et al, 2019. Influence of water quality and habitat conditions on amphibian community metrics in rivers affected by urban activity[J]. Urban Ecosystems, 22: 1 - 13.

Canobbio S, Azzellino A, Cabrini R, et al, 2013. A multivariate approach to assess habitat integrity in urban streams using benthic macroinvertebrate metrics[J]. Water Science and Technology, 67(12): 2832 - 2837.

Fierro P, Arismendi I, Hughes R M, et al, 2018. A benthic

- macroinvertebrate multimetric index for Chilean Mediterranean streams[J]. *Ecological Indicators*, 91:13-23.
- Fore L S, Frydenborg R, Miller D, et al, 2007. Development and testing of biomonitoring tools for macroinvertebrates in Florida streams (Stream Condition Index and BioRecon)[R]. Tallahassee; Florida Department of Environmental Protection; 22-23.
- Hawkins C P, Paulsen S G, Sickle J V, et al, 2008. Regional assessments of stream ecological condition: scientific challenges associated with the USA's national Wadeable Stream Assessment[J]. *Journal of the North American Benthological Society*, 27(4):805-807.
- Hellawell J M. 1978. Biological surveillance of rivers[M]. UK: Water Research Centre.
- Hilsenhoff W L. 1988. Rapid field assessment of organic pollution with a family-level biotic index[J]. *Journal of the North American Benthological Society*, 7:65-68.
- Hynes H B N. 1960. The biology of polluted waters[M]. UK: Liverpool University Press.
- Kazanci N, Girgin S. 1998. Distribution of Oligochaeta species as bioindicators of organic pollution in Ankara Stream and their use in biomonitoring[J]. *Turkish Journal of Zoology*, 22(1):83-87.
- King R, Baker M, Kazyak P, et al, 2011. How novel is too novel? Stream community thresholds at exceptionally low levels of catchment urbanization[J]. *Ecological Applications*, 21(5):1659-1678.
- Kozłowski G, Bondallaz L. 2013. Urban aquatic ecosystems; habitat loss and depletion of native macrophyte diversity during the 20th century in four Swiss cities[J]. *Urban Ecosystems*, 16(3):543-551.
- Lafont M. 1984. Oligochaete communities as biological descriptors of pollution in the fine sediments of rivers[J]. *Hydrobiologia*, 115(1):127-129.
- Ligeiro R, Hughes R M, Kaufmann P R, et al, 2013. Defining quantitative stream disturbance gradients and the additive role of habitat variation to explain macroinvertebrate taxa richness[J]. *Ecological Indicators*, 25:45-57.
- Metzeling L, Perriss S, Robinson D. 2006. Can the detection of salinity and habitat simplification gradients using rapid bioassessment of benthic invertebrates be improved through finer taxonomic resolution or alternative indices? [J]. *Hydrobiologia*, 572(1):235-252.
- Milner A M, Conn S C, Brown L E. 2006. Persistence and stability of macroinvertebrate communities in streams of Denali National Park, Alaska; implications for biological monitoring[J]. *Freshwater Biology*, 51(2):373-387.
- Morse J C, Bae Y J, Munkhjargal G, et al, 2007. Freshwater biomonitoring with macroinvertebrates in East Asia[J]. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 5(1):33-42.
- Ofenböck T, Moog O, Gerritsen J, et al, 2004. A stressor specific multimetric approach for monitoring running waters in Austria using benthic macroinvertebrates[J]. *Hydrobiologia*, 516, 251-268.
- Pond G J, Passmore M E, Borsuk F A, et al, 2008. Downstream effects of mountaintop coal mining; comparing biological conditions using family- and genus-level macroinvertebrate bioassessment tools[J]. *Journal of the North American Benthological Society*, 27(3):717-737.
- Rosenberg D M, Resh V H. 1993. Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates[M]. New York: Chapman and Hall; 48.
- Thorne R, Willams P. 1997. The response of benthic macroinvertebrates to pollution in developing countries; a multimetric system of bioassessment[J]. *Freshwater Biology*, 37(3):671-686.
- Vlek H E, Verdonschot P F M, Nijboer R C. 2004. Towards a multimetric index for the assessment of Dutch streams using benthic macroinvertebrates [J]. *Hydrobiologia*, 516(1):173-189.

(责任编辑 张俊友 郑金秀)

Application of Rapid Bioassessment Indices of Macroinvertebrates in Ecological Evaluation of Urban Streams

QU Xiao-dong^{1,2}, CHEN Jun³, CHEN Hao-yang⁴, ZHANG Min²,
PENG Wen-qi^{1,2}, ZHU Lei³, LEI Xuan³

(1.State Key Laboratory of Simulation and Regulation of Water Cycle in
River Basin, Beijing 100038, P.R.China;

2.China Institute of Water Resource and Hydropower Research, Beijing 100038, P.R.China;

3.China Construction Eco-Environmental Group Co. LTD, Beijing 100037, P.R.China;

4.South China Agriculture University, Guangzhou 510642, P.R.China)

Abstract: Bioassessment is now widely used in the protection and management of the river ecosystems. Rapid bioassessment of freshwater ecology, based on macroinvertebrates, is widely applied because of its low cost and reliability. In this investigation, Longgang River, a subtropical urban stream of Shenzhen City, was selected for a case study. Six macroinvertebrate indices were compared to identify those most suitable for rapid bioassessment of urban river ecosystems. The indices found to be most appropriate were then integrated to give a multi-metric index. The suitability of the resulting index for evaluating urban river health was tested by application to the Longgang River. The aim of the study was to provide a comprehensive and reliable evaluation method to support conservation and restoration of urban rivers. In March and April of 2017, macroinvertebrate monitoring was carried out at 21 sampling sites in Longgang River. A total of 43 species of macroinvertebrates from 28 families were recorded during the investigation and oligochaetes dominated the community. Based on characteristics of macroinvertebrate community structure and considering the dispersion and correlation among the indices, three indices were selected for rapid bioassessment of Longgang River: taxa richness, relative of abundance Oligochaeta, and the Family Biotic Index (FBI). These three indices were integrated to give a multi-metric index for rapid bioassessment of urban streams. The health of Longgang River was assessed using the multi-metric index and the results indicate that two sampling sites were very healthy, six sampling sites were sub-healthy, and thirteen sites were unhealthy or in sick condition. In summary, indices for rapid bioassessment, based on the tolerance of different macroinvertebrates to varying degrees of environmental pollution, provide a sensitive measure for evaluating river health. By integrating the indices found suitable for urban rivers receiving heavy organic pollution, we developed a multi-metric index that provides an effective tool for assessing the ecological health of urban streams and evaluating river restoration projects.

Key words: macroinvertebrate; rapid bioassessment; urban stream; pollution tolerance; multi-metrics method