

基于大型底栖动物完整性指数的辽河流域水生态健康评价

姜永伟¹, 卢雁¹, 问青春¹, 李杨¹, 王业耀², 许人骥², 金小伟², 阴琨²

(1. 辽宁省生态环境监测中心, 辽宁 沈阳 120031;

2. 中国环境监测总站, 北京 100012)

摘要: 文章以2018年4月辽河流域31个点位(13个参照点, 18个监测点)大型底栖动物数据为基础, 选取了20个参数进行分布范围、判别能力和相关性分析, 确定了构建辽河流域B-IBI(大型底栖动物完整性指数)指标体系的6个参数, 分别为总分类单元数、摇蚊分类单元数、EPT百分比、敏感类群百分比、BI指数和ASPT指数。采用比值法统一了6个参数的评价量纲, 参数值相加得到B-IBI值。以参照点25%分位数法建立了辽河流域B-IBI评价标准。结果表明: 17个点位为健康, 9个为良好, 5个为一般, 辽河流域整体处于健康一般状态, 较2007年辽河流域完整性评价结果有明显改善。

关键词: 辽河流域; 大型底栖动物; 大型底栖动物完整性指数(B-IBI); 健康一般状态

中图分类号: X286

文献标志码: A

DOI: 10.16803/j.cnki.issn.1004-6216.2020.06.017

Water Ecological Health Assessment of Liaohe River Basin Based on the Integrity Index of Benthic Macroinvertebrates

JIANG Yongwei¹, LU Yan¹, WEN Qingchun¹, LI Yang¹, WANG Yeyao², XU Renji², JIN Xiaowei², YIN Kun²

(1. Liaoning Eco-environmental Monitoring Center, Liaoning Shenyang 120031, China;

2. China National Environmental Monitoring Centre, Beijing 100012, China)

Abstract: Based on the benthic macroinvertebrate communities at 31 points (13 reference points and 18 monitoring points) in Liaohe river basin in April 2018, 20 parameters were selected to analyze the distribution range, the discriminant ability and the correlation. The 6 parameters for constructing the B-IBI index system of Liaohe river basin were clarified, including the total number of classification units, the number of chironomidae classification units, the percentage of EPT, the percentage of sensitive groups, the BI index and the ASPT index. The evaluation dimensions of 6 parameters were unified by the ratio method, and the B-IBI values were obtained by summing the parameter values. The B-IBI evaluation standard of Liaohe river basin was established by the reference points 25% quantile method. The results showed that 17 points were healthy, 9 were fine and 5 were general. The ecological status of Liaohe river basin was in the health-general level, which was improved significantly than that in 2007.

Keywords: Liaohe River Basin; Benthic Macroinvertebrates; B-IBI; Health-general Level

CLC number: X286

我国在大型底栖动物完整性指数B-IBI研究及应用方面起步较晚, 王备新^[1]最早应用B-IBI评价了安徽黄山地区溪流健康状况, 张远等、曹艳霞等、熊春晖等、阴琨、付岚等、孔凡青等、杨志凌等、游清徽等、陈昌明等^[2-10]分别应用B-IBI评价了辽河流域东部地区、漓江流域、上海市河流、松花江流域、东江流域、永定河水系、广西防城江流

域、鄱阳湖湿地、把边江河流生态系统健康状况。在辽河流域的应用中, 张远等^[2]应用2005年4月份辽河流域东部地区25个点位大型底栖动物数据筛选出总分类单元数、EPT分类单元数、摇蚊分类单元数、前3位优势分类单元百分比、敏感类群百分比和粘附者百分比6个参数构成B-IBI指标体系, 对辽河流域进行了河流健康评价, 结果显示近

收稿日期: 2020-04-09

基金项目: 国家水体污染控制与治理重大专项课题(2012ZX07505003)

作者简介: 姜永伟(1984-), 男, 硕士、工程师。研究方向: 水生生物监测与评价。E-mail: jyw435@126.com

通信作者: 阴琨(1982-), 女, 博士、高级工程师。研究方向: 水生生物监测与评价。E-mail: 33585437@qq.com

引用格式: 姜永伟, 卢雁, 问青春, 等. 基于大型底栖动物完整性指数的辽河流域水生态健康评价[J]. 环境保护科学, 2020, 46(6): 103-109.

1/4 的点位为较差和极差状态。近年来,辽河流域的水质理化指标监测结果较 2005 年有明显改善,大型底栖动物多样性明显增多,水生态系统的结构也发生了较大变化,以往的 B-IBI 评价结果很难反映当前的辽河流域水生态状况,本研究在以上 25 个点位基础上,优化并增加了西辽河和大凌河上的部分点位,辽河全流域共设置了 31 个点位,以期从大型底栖动物完整性的角度全面系统地评价当前辽河全流域的水生态状况。

1 研究区域及方法

1.1 研究区域概况

辽河流域是我国七大流域之一,亦是国家重点治理的“三河三湖”之一,是“十三五”期间国家水体污染控制与治理科技重大专项实施的 10 个重点流域之一,由辽河、浑河、太子河、大辽河、大凌河和小凌河 6 条主要河流及其支流组成。作为新中国工业的摇篮,国家振兴东北老工业基地的核心区域,辽河流域曾经承载着辽宁、吉林等省市经济社会发展的巨大资源和环境压力,水质污染长期较为严重^[1]。2008 年以来,国家和辽宁省开展了大规模的辽河治理工作,截至 2012 年年底,辽河流域摘掉了重度污染的“帽子”,干流水质达到或好于 IV 类,支流水质达到或好于 V 类,辽河流域水质状况得到明显改善。邢树威等^[2]在 2013 年应用大型底栖动物 BI 指数对辽河全流域的评价结果从水生生物的角度反映了辽河流域水质得到明显改善。

1.2 研究方法

1.2.1 点位筛选 根据 KERANS et al^[13]的方法,按照采样点位受人类活动的干扰程度将点位分为未干扰样点、干扰极小样点和干扰样点,将未干扰点和干扰极小样点作为参照位点,干扰样点作为监测位点。本文选择参照位点的标准是水质在 III 类标准以上,点位上游周边无污染源、500 m 范围内无农田和居民聚集区;监测点的选择标准是点位周边明显受到各种因素的人为干扰,如周边有污染源、人为加固河道、靠近居民聚集区、桥梁附近等。经过筛选,最终确定了 13 个参照位点,主要分布在河流上游的支流上,分别为东山湾(S2)、东大桥(S7)、柴河水库出口(S8)、台沟(S23)、北杂木(S24)、古楼(S25)、大伙房水库出口(S26)、老官砬子(S9)、观音阁坝下(S12)、汤河桥(S15)、汤河水

库出口(S16)、章吉营(S19)和王家沟(S20);其余 18 个点位为监测位点,见图 1。

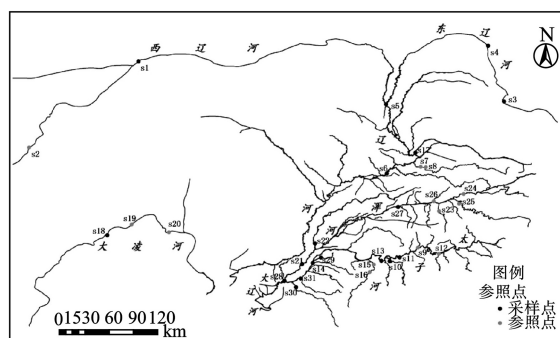


图 1 辽河流域采样点位分布示意图

1.2.2 样品采集、鉴定及数据分析 根据《辽宁省河流水质评价 底栖大型无脊椎动物 BI 指数法: DB21/T 3070—2018》^[14],使用索伯网(50 cm×50 cm)采集两个有代表性的样方,样品过 40 目分样筛后转移至搪瓷盘中,加入适量清水,将所有样品挑拣至含有 75% 酒精的样品瓶中固定后带回实验室。所有样品鉴定至种级,无法鉴定至种级的需鉴定到属,区分到种。数据统计分析在 SPSS19.0 和 Excel 中进行。

2 结果与讨论

2.1 候选参数的选择

参照文献 [1] 本文选用了对干扰反应敏感的 20 个候选参数。包括反映群落丰富度的参数 5 个,分别为总分类单元数(M1)、EPT(蜉蝣目、襀翅目和毛翅目)分类单元数(M2)、水生昆虫分类单元数(M3)、摇蚊分类单元数(M4)、香农多样性指数(M5);反映种类个体数量比例的参数 8 个,分别为优势种百分比(M6)、前 3 位优势种百分比(M7)、蜉蝣目百分比(M8)、襀翅目百分比(M9)、毛翅目百分比(M10)、EPT 百分比(M11)、摇蚊百分比(M12)、寡毛类百分比(M13);反映物种敏感性的参数 4 个,分别为耐污类群百分比(M14)、敏感类群百分比(M15)、BI 指数(M16)、ASPT 指数(M17);反映营养层级的参数 2 个,分别为捕食者百分比(M18)和滤食者百分比(M19);反映小生境质量的参数 1 个,为粘附者百分比(M20)。

2.2 判别能力分析

按照文献 [2] 的计算方式,计算 13 个参照点中各候选参数的分布范围见表 1,剔除以下 2 类参数:①随干扰增强值很小的参数,如果值很小,说明随

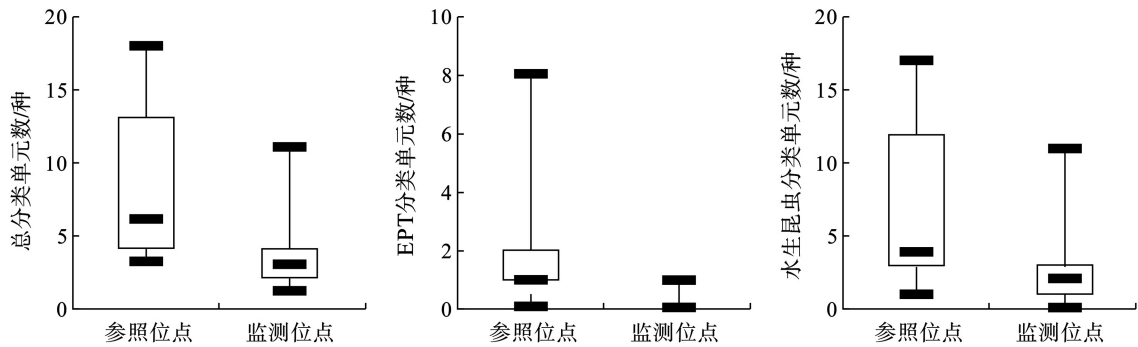
干扰的增强变化范围很窄,不易准确区分受不同干扰程度的水体,不适于参与构建 B-IBI 指标体系;同理,随干扰增强值很大的参数,如果指数值太大,也不适宜;②如果指数值的标准差大,说明该值分布比较散,也不适于参与构建 B-IBI 指标体系。根据以上原则,剔除 4 个候选参数,分别为襁翅目百分比、毛翅目百分比、寡毛类百分比和捕食者百分比,其余的 16 个参数做进一步分析。

表 1 20 个候选参数在参照点中的分布范围

候选参数	平均值	标准差	最小值	最大值	25%分位数	中位数	75%分位数
M1	8.38	5.58	3.00	18.00	4.00	6.00	13.00
M2	2.31	2.66	0.00	8.00	1.00	1.00	2.00
M3	7.23	5.61	1.00	17.00	3.00	4.00	12.00
M4	3.54	2.73	0.00	8.00	2.00	3.00	6.00
M5	2.00	0.88	0.63	3.03	1.22	2.28	2.74
M6	0.54	0.21	0.28	0.89	0.39	0.43	0.70
M7	0.79	0.16	0.60	1.00	0.66	0.75	0.95
M8	0.17	0.23	0.00	0.70	0.00	0.06	0.36
M9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
M10	0.06	0.12	0.00	0.32	0.00	0.00	0.06
M11	0.23	0.26	0.00	0.70	0.06	0.09	0.42
M12	0.50	0.35	0.00	1.00	0.25	0.50	0.79
M13	0.01	0.02	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00
M14	0.21	0.30	0.00	0.94	0.03	0.11	0.24
M15	0.20	0.23	0.00	0.57	0.04	0.09	0.32
M16	5.70	1.20	3.78	8.12	5.15	5.59	6.27
M17	4.58	1.06	2.00	5.82	4.33	5.00	5.00
M18	0.10	0.19	0.00	0.66	0.00	0.01	0.08
M19	0.17	0.22	0.00	0.70	0.00	0.05	0.30
M20	0.56	0.35	0.00	1.00	0.29	0.63	0.81

根据 BARBOUR et al^[15] 的评价方法,对参照位点和监测位点的各参数进行箱线图分析,见图 2,对箱线图结果分别赋予不同的值:没有重叠, IQ=3; 部分重叠,但是双方中位数值均在对方箱体之外, IQ=2; 仅有 1 个中位数值在对方箱体

之内, IQ=1; 双方的中位数值均在对方箱体之内, IQ=0。仅保留 IQ≥2 的参数作进一步分析。经过分析,总分类单元数、EPT 分类单元数、水生昆虫分类单元数等 11 个参数符合要求,予以保留。



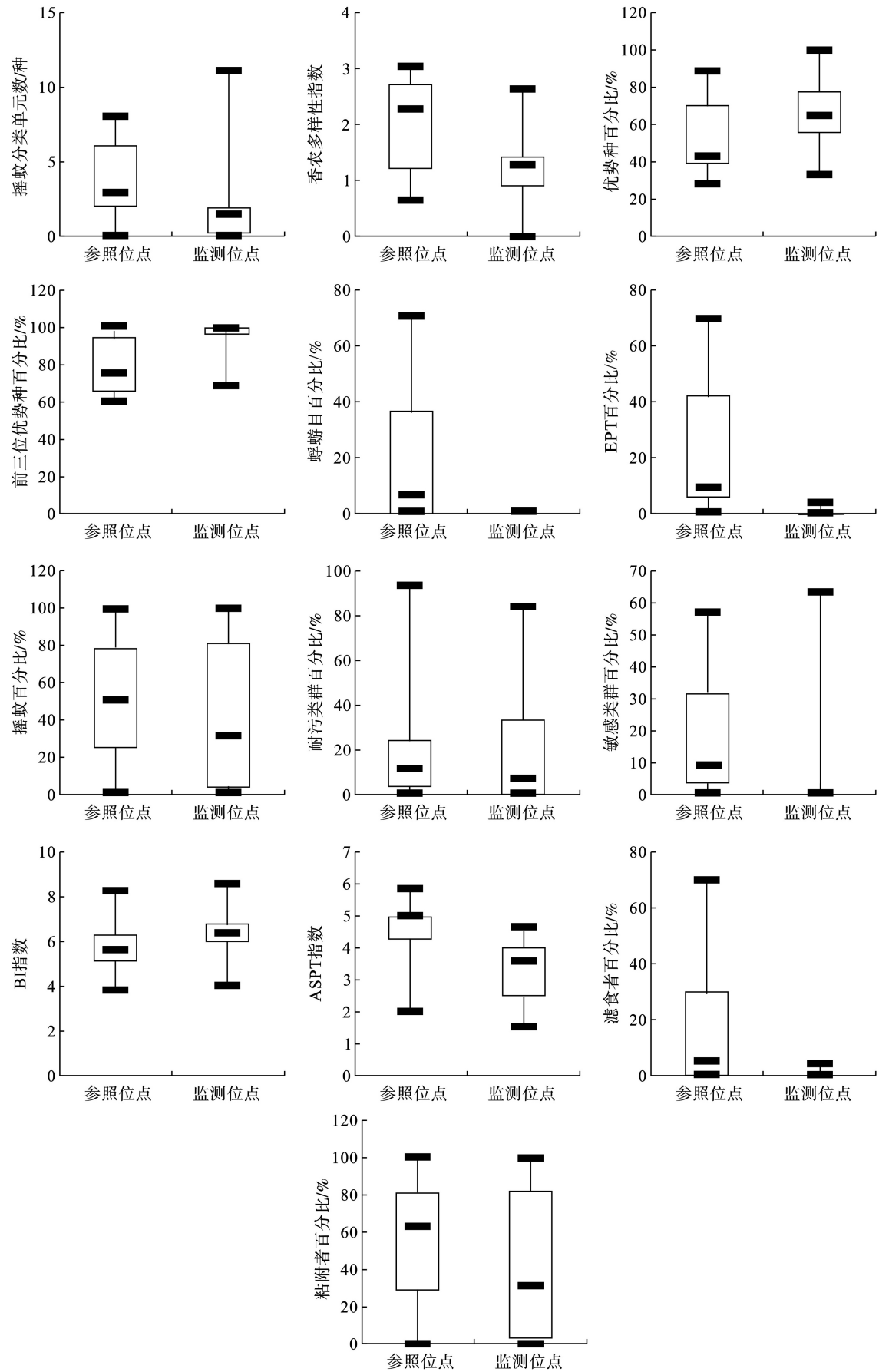


图 2 16 个候选参数在参照位点与监测位点的箱线图

2.3 冗余度分析

对判别能力分析后保留的 11 个参数进行 Pearson 相关性分析, 检验各参数所反映信息的独立性, 去除冗余信息。采用 MAXTED et al^[16] 的标准, 对高

度相关的两个参数(相关性系数 r 绝对值大于 0.75), 取其中一个参数即可代表两个参数的大部分信息, 具体分析见表 2。

表 2 11 个参数间的 Pearson 相关性系数

参数	M1	M2	M3	M4	M7	M8	M11	M15	M16	M17	M19
M1	1										
M2	.849**	1									
M3	.969**	.836**	1								
M4	.743**	.402*	.809**	1							
M7	-.846**	-.651**	-.811**	-.679**	1						
M8	.364*	.423*	.358*	.056	-.343	1					
M11	.560**	.709**	.542**	.136	-.496**	.917**	1				
M15	.347	.357*	.295	-.019	-.342	.762**	.696**	1			
M16	-.239	-.267	-.216	.004	.321	-.552**	-.503**	-.659**	1		
M17	.337	.457**	.297	-.057	-.336	.374*	.436*	.391*	-.459**	1	
M19	.339	.396*	.333	.036	-.338	.995**	.899**	.775**	-.560**	.372*	1

注: **表示在0.01水平(双侧)上显著相关; *表示在0.05水平(双侧)上显著相关。

表 2 可知, 在反映群落丰度的 4 个参数中, 总分类单元数(M1)与 EPT 分类单元数(M2)和水生昆虫分类单元数(M3)均高度相关(r 分别为 0.849 和 0.969), 由于总分类单元数所包含的信息最多, 予以保留, 剔除 EPT 分类单元数和水生昆虫分类单元数; 摇蚊分类单元数(M4)仅与水生昆虫分类单元数(M3)高度相关, 予以保留。在反映种类个体数量比例的 3 个参数中, 前 3 位优势种百分比(M7)与总分类单元数高度相关($|r|=0.846$), 剔除; 蜉蝣目百分比(M8)与 EPT 百分比(M11)高度相关($r=0.917$), 保留 EPT 百分比。在反映物种敏感性的 3 个参数中, 敏感类群百分比(M15)、BI 指数(M16)、ASPT 指数(M17)两两之间的相关性均低于 0.75, 三者均保留。反映营养结构的参数滤食者百分比(M19)与 EPT 百分比和敏感类群百分比均高度相关, 剔除。综上, 构成 B-IBI 的参数共 6 个, 分别为总分类单元数、摇蚊分类单元数、EPT 百分比、敏感类群百分比、BI 指数、ASPT 指数。

2.4 统一评价量纲

采用国内外广泛使用的比值法对参数进行记分。对于干扰越强, 指数值越低的参数, 以 95% 分位数值为最佳值, 各指数值的分值等于指数值/95% 分位数值。对于干扰越强, 指数值越高的参数, 则

以 5% 分位数值为最佳值, 其分值等于(最大值-指数值)/(最大值-5% 分位数值)。按照上述方法计算后的分值范围为 0~1, 若大于 1, 则记为 1。构成 B-IBI 的 6 个参数分值计算公式见表 3。

表 3 构成 B-IBI 的 6 个参数分值计算公式

B-IBI构成参数	分值计算公式
总分类单元数	指数值/16.8
摇蚊分类单元数	指数值/9.2
EPT百分比	指数值/0.56
敏感类群百分比	指数值/0.66
BI指数	(8.64~指数值)/(8.64~3.91)
ASPT指数	指数值/6.69

2.5 建立 B-IBI 评价标准

计算后的分值进行加和即得到 B-IBI 指数值。采用参照位点 25% 分位数值作为健康标准, 小于该值的分布范围进行 4 等分, 确定辽河流域 B-IBI 指数值的评价标准, 见表 4。

表 4 辽河流域 B-IBI 评价标准

健康	良好	一般	较差	极差
>1.50	1.12~1.50	0.74~1.12	0.36~0.74	0~0.36

2.6 结果及讨论

辽河全流域 31 个点位的水生态状况进行评价, 结果见表 5。

表 5 辽河流域各点位 B-IBI 评价结果

水系	点位名称	点位性质	B-IBI值	评价结果
辽河	苏家堡 (S1)	监测点	1.06	一般
	东山湾 (S2)	参照点	3.21	健康
	河清 (S3)	监测点	1.01	一般
	城子上 (S4)	监测点	1.35	良好
	福德店 (S5)	监测点	1.55	健康
	珠尔山 (S6)	监测点	1.13	良好
	东大桥 (S7)	参照点	4.32	健康
	柴河水库出口 (S8)	参照点	1.57	健康
	清辽 (S17)	监测点	1.31	良好
浑河	于家房 (S21)	监测点	1.15	良好
	蒲河沿 (S22)	监测点	1.81	健康
	台沟 (S23)	参照点	3.85	健康
	北杂木 (S24)	参照点	0.95	一般
	古楼 (S25)	参照点	3.6	健康
	大伙房水库出口 (S26)	参照点	1.56	良好
	七间房 (S27)	监测点	1.75	健康
太子河	老官砬子 (S9)	参照点	2.94	健康
	邱家 (S10)	监测点	1.41	良好
	本溪兴安 (S11)	监测点	1.56	健康
	观音阁坝下 (S12)	参照点	1.88	健康
	参窝坝下 (S13)	监测点	1.49	良好
	下口子 (S14)	监测点	2.65	健康
	汤河桥 (S15)	参照点	1.43	良好
	汤河水库出口 (S16)	参照点	2.91	健康
	孟柳 (S29)	监测点	1.51	健康
	刘家台 (S31)	监测点	0.93	一般
	牛庄 (S30)	监测点	0.80	一般
大凌河	南大桥 (S18)	监测点	3.15	健康
	章吉营 (S19)	参照点	4.60	健康
	王家沟 (S20)	参照点	4.87	健康
大辽河	三岔河 (S28)	监测点	1.49	良好

表 5 可知,31 个采样点位中,17 个为健康,9 个为良好,5 个为一般,无较差和极差点位,辽河流域整体水生态状况较好。从水系来看,辽河评价结果为“一般”的点位分别位于西辽河上游和东辽河上游地区,其中,苏家堡点位沙漠化严重,水流较小,河岸带植被稀少,仅采集到 2 种大型底栖动物;河

清点位人工渠道化明显,为淤泥底质,且水较深,仅采集到 3 种摇蚊。浑河整体为健康和良好状态,北杂木点位的评价与实际情况存在差异,该点位位于大伙房水库入库支流上,水质较好,往年历次水生生物例行监测中均采集到较多的大型底栖动物种类,本次调查仅采集到 3 种不敏感物种,可能的原

因是采样过程中选取的样方代表性不足。太子河仅下游地区的刘家台和牛庄点位评价结果为“一般”, 该两个点位水较深且受到一定程度的有机污染, 采集到的大型底栖动物均为较耐污的水丝蚓和摇蚊幼虫。大凌河和大辽河的水生态状况较好, 尽管大辽河的三岔河点位仅采集到1种大型底栖动物中华绒螯蟹, 但是其为较敏感物种, 因此水质评价结果也较好。

本文利用B-IBI评价方法研究得到了辽河全流域的整体水生态质量状况, 大型底栖动物完整性评价结果较张远等2007年的评价结果有明显改善, 即使是位于近河口地区的三岔河、牛庄和刘家台点位水生态状况也有了明显好转。说明近年来国家和辽宁省开展的大规模辽河治理工作一定程度上提升了辽河流域大型底栖动物的完整性, 即使部分营养盐指标(如总氮、总磷等)一定程度上存在超标现象, 其对大型底栖动物影响不大, 这也反映出生物监测不同于理化监测的特点。

参考文献

- [1] 王备新. 大型底栖无脊椎动物水质生物评价研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2003.
- [2] 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[J]. 环境科学学报, 2007, 27(6): 919–927.
- [3] 曹艳霞, 张杰, 蔡德所, 等. 应用底栖无脊椎动物完整性指数评价漓江水系健康状况[J]. 水资源保护, 2010, 26(2): 13–23.
- [4] 熊春晖, 张瑞雷, 徐玉萍, 等. 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, 2015, 27(6): 1067–1078.
- [5] 阴琨. 松花江流域水生态环境质量评价研究[D]. 北京: 中国地质大学, 2015.
- [6] 付岚, 江源, 刘琦, 等. 基于大型底栖动物完整性指数B-IBI的东江流域水生态健康评价[J]. 生态环境学报, 2018, 27(8): 1502–1511.
- [7] 孔凡青, 崔文彦, 周续申. 基于大型底栖动物完整性指数(B-IBI)的永定河水系生态健康评价[J]. 生态环境学报, 2018, 27(3): 550–555.
- [8] 杨志凌, 陆家昌, 许铭本, 等. 广西防城江流域河流的B-IBI评价[J]. 湖南生态科学学报, 2018, 5(2): 6–14.
- [9] 游清徽, 刘玲玲, 方娜, 等. 基于大型底栖无脊椎动物完整性指数的鄱阳湖湿地生态健康评价[J]. 生态学报, 2019, 39(18): 6631–6641.
- [10] 陈昌明, 黄晓霞, 和克俭. 基于生物完整性指数的把边江河流生态健康评价[J]. 云南地理环境研究, 2020, 32(3): 63–69.
- [11] 仇伟光, 王俊才, 张峥, 等. 辽河流域底栖动物监测图鉴[M]. 北京: 中国环境出版社, 2014.
- [12] 邢树威, 王俊才, 丁振军, 等. 辽宁省大型底栖无脊椎动物耐污值及水质评价[J]. 环境保护科学, 2013, 39(3): 29–33.
- [13] 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(4): 768–785.
- [14] 辽宁省市场监督管理局. 辽宁省河流水质评价底栖大型无脊椎动物BI指数法: DB21/T 3070—2018[S/OL]. (2019-01-07) [2020-03-10]. <http://sthj.ln.gov.cn/search/web/search?channelid=274008>.
- [15] BARBOUR M T, GERRITSEN J, GRIFFITH G E, et al. A framework for biological criteria for Florida streams using benthic macroinvertebrates[J]. Journal of the North America Benthological Society, 1996, 15(2): 185–211.
- [16] MAXTED J R, BARBOUR M T, GERRITSEN J, et al. Assessment framework for mid-Atlantic coastal plain streams using benthic macroinvertebrates[J]. Journal of the North America Benthological Society, 2000, 19(1): 128–144.