

基于大型底栖动物的温榆河公园水生生态状况分析

王文文^{1,2}, 张耀方¹, 叶芝茜¹, 李添雨¹, 房 华³, 王昕然⁴, 张亦涛⁵, 李 岱⁶

- (1. 北京市水科学技术研究院, 北京 100048;
2. 河海大学水文水资源学院, 南京 210013;
3. 北京市清河管理处, 北京 102202;
4. 北京市朝阳区水务局, 北京 100026;
5. 昌平区城区水务服务中心, 北京 102299;
6. 北京市城市河湖管理处, 北京 100144)

摘 要: 为系统评价温榆河公园流域水生生态状况, 2021 年对温榆河公园大型底栖动物进行了调查, 分析了大型底栖动物的群落特征及时空分布, 利用生物指数 (BI)、生物多样性指数和大型底栖动物完整性指数 (B-IBI) 3 种方法分别评价了温榆河公园水生生态状况。结果显示, 温榆河公园共采集到大型底栖动物 56 属种, 隶属 5 类, 不同物种大型底栖动物的密度与物种数在时空分布上存在差异, 水生昆虫类具有显著优势, 在多数点位占比超过 50%; 研究区域的多样性指数评价显示温榆河公园的物种组成相对比较丰富, 而且已经有多个点位出现了指示清洁的优势种, 说明温榆河公园的水生生态状况在逐渐变好。通过对比与相关性分析, 总结出适合评价温榆河公园的水生生态状况的方法为多样性指数评价法。

关键词: 北京温榆河公园; 大型底栖动物; B-IBI 完整性指数; BI 指数; 生物多样性指数; 水生生态状况

中图分类号: X824

文献标志码: A

DOI: 10.16803/j.cnki.issn.1004-6216.2022050025

Water ecological status of the Wenyu River Park based on macrobenthos

WANG Wenwen^{1,2}, ZHANG Yaofang¹, YE Zhihan¹, LI Tianyu¹, FANG Hua³, WANG Xinran⁴, ZHANG Yitao⁵, LI Dai⁶

- (1. Beijing Water Science and Technology Institute, Beijing 100048, China; 2. Hohai University College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210013, China; 3. Beijing Qinghe Management Office, Beijing 102202, China;
4. Chaoyang District Water Bureau of Beijing Municipality, Beijing 100026, China; 5. Changping District Urban Water Service Center, Beijing 102299, China; 6. Beijing Urban Rivers and Lakes Management Office, Beijing 100144, China)

Abstract: To systematically evaluate the water ecological status of the Wenyu River Park basin, the macrobenthos in Wenyu River Park were investigated in 2021. The community characteristics and temporal and spatial distribution of benthos were analyzed. 3 methods were used to evaluate the water ecological status of Wenyu River Park, namely, biological index (BI), biodiversity index, and benthic integrity index (B-IBI). The results showed that a total of 56 genera and species of benthos were collected in Wenyu River Park, belonging to 5 categories. The density and number of benthos of different species were different in temporal and spatial distribution. Aquatic insects had significant advantages, accounting for over 50% in most points; The evaluation of diversity index in the study area showed that the species composition in Wenyu River Park was relatively rich, and several sampling sites had already shown the presence of indicator species for clean water, suggesting an improvement in the water ecological condition of the Wenyu River Park. Through comparison and correlation analysis, the method suitable for evaluating the water ecological status of the Wenyu River Park was concluded as the diversity index evaluation method.

Keywords: Beijing Wenyu River park; macrobenthos; B-IBI integrity index; BI index; biodiversity index; water ecological status

CLC number: X824

健康的水生态系统在维持生态系统结构、生态过程和区域环境生态功能的同时, 还为人类提供各

类生活和生产的基础产品。而城市的发展和人们的生产生活严重影响着水生生态系统^[1], 因此协调城

收稿日期: 2022-05-17

录用日期: 2022-08-25

作者简介: 王文文(1999—), 女, 硕士研究生。研究方向: 流域生态修复。E-mail: wendywww0208@163.com

通信作者: 张耀方(1991—), 女, 硕士、高级工程师。研究方向: 流域生态修复。E-mail: usasz@163.com

引用格式: 王文文, 张耀方, 叶芝茜, 等. 基于大型底栖动物的温榆河公园水生生态状况分析[J]. 环境保护科学, 2023, 49(3): 96-102.

市化发展与河流生态系统健康的关系及研究水生生态健康状况很有必要。而大型底栖动物是维系水生生态系统结构的一个重要组成部分,其生活周期较长,活动固定便于采集,且对于水质的敏感性在不同种类间差异很大,当受外界干扰后,群落结构会发生变化,其趋势可以反映水体的生态状况,水体发生变化都将直接影响大型底栖动物的生长、繁殖^[2]。目前,对于水生态状况的监测和生物评价指数^[3]有许多,如:通过生物指数(Biological Index, BI)判断敏感性强或耐污性好的大型底栖动物物种的存在与否来指示水体生态状况^[4-5];运用多样性指数通过评估群落组成异质性和群落结构复杂性来反映生态状况^[2, 6-7];底栖生物完整性指数(Benthic Index of Biotic Integrity, B-IBI)通过量化大型底栖动物的多种群落及功能特征来构建评价体系。B-IBI^[8]最早由美国俄亥俄州环保局提出,后来在全球范围内被广泛应用。我国在B-IBI方面的研究起步较晚,王备新等^[9]首次以安徽黄山地区溪流为研究对象建立了B-IBI评价指标体系。近些年来,基于大型底栖动物完整性指数的研究较多,已有不少学者以大型底栖动物为对象对密云水库上游^[10]、白洋淀湿地^[11]、永定河水系^[12]、长江口-杭州湾潮间带^[13]和深圳茅洲河^[14]进行了构建B-IBI评价体系,评价了相应水体的水生态状况,也有学者在龙岗河^[15]、东江流域^[16]和太子河流域^[17]通过比较了大型底栖动物生物指数评价结果的差异,研究了不同生物评价指数在所选流域的适用性。

本研究以大型底栖动物作为温榆河公园生态状况的指示生物,分析了其大型底栖动物的群落结构特征,又通过利用生物指数(BI)、生物多样性指数和底栖生物完整性指数(B-IBI)3种方法来分析温榆河公园水体生态状况,旨在了解温榆河公园水体的生态现状,并通过对比评价结果,选择出适合温榆河公园的生态状况监测评价方法,为后续的工作调查提供支撑。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

温榆河公园地处朝阳、顺义和昌平三区交界,清河、温榆河两河交汇处,城市副中心上游。该区域属中纬度暖温大陆性季风气候,四季分明,春季少雨多风,夏季炎热多雨,秋季天高气爽,冬季寒冷

干燥。项目区的清河营郊野公园雨量站21年总降雨量为871.7 mm,降水年内变化不均,多集中在汛期6—9月,约占全年的80%左右。多年平均水面蒸发量为1200 mm左右。该地区多年平均气温12℃,最热月份为7月,月平均气温26℃,最冷月份为1月,月平均气温-4.4℃。多年平均日照总数为2730 h左右。全年无霜期为215 d。多年平均风速2.2 m/s,盛行西北风和东南风。

1.2 研究方法与数据处理

该研究考虑不同季节大型底栖动物的变化,于2021年7月(代表夏季)、10月(代表秋季)在温榆河公园流域进行大型底栖动物的采样,考虑到研究区域水位、气候及地理特征等环境因素,在公园内设置共设定18个采样点,见图1,其中温榆河5个,清河3个;通过参考《水生生物调查技术规范:DB11/T 1721—2020》《底栖动物与河流生态评价》^[18]进行大型底栖动物的现场采集及种类鉴定。

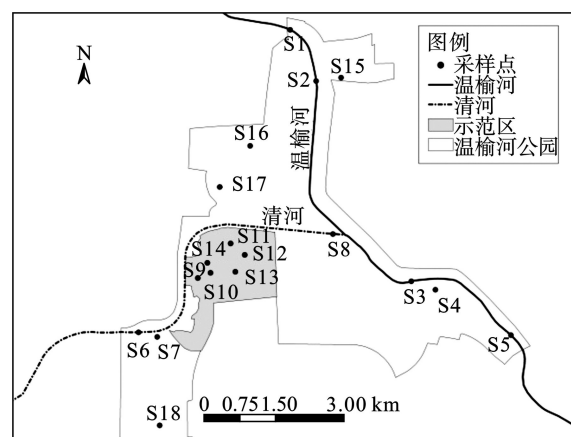


图1 温榆河公园大型底栖动物监测点分布

Fig. 1 Distribution of macrobenthic monitoring sites in Wenyu River Park

1.2.1 B-IBI评价方法 参考文献[9-14]确定建立B-IBI指标体系的具体步骤:确定参考点、确定候选指标及它们对干扰的反应、计算每种生物指标值、分析指数值的分布范围、进行相关关系和判别能力的分析,最终确定评价指标,建立评价体系标准完成水生态的监测评价。为了反映生境变化对温榆河公园大型底栖动物群落的影响,客观有效地评价研究区域水生态健康状况,结合温榆河公园的实际情况,本研究选取了反映物种组成的M1(总分类单元数)、M2(寡毛类分类单元数)、M3(蛭类分类单元数)、M4(软体动物分类单元数)、M5(水生昆虫幼虫分类单元数)和M6(甲壳类分类单元数);反映物种多样性的M7(Shannon-Wiener指数 H')、

M8(margalef 丰富度指数 d)、M9(pielou 均匀度指数 J)、耐污能力的 M10(敏感类群分类单元数)、M11(耐污类群分类单元数)、M12(敏感类群百分比)、M13(耐污类群百分比)和 M14(BI 值);反映摄食类型的 M15(滤食者类群单元数)、M16(刮食者类群单元数)、M17(捕食者类群单元数)、反映物种丰度的 M18(优势单元百分比)、M19(寡毛类百分比)、M20(蛭类百分比)、M21(软体动物百分比)、M22(水生昆虫百分比)和 M23(甲壳类百分比)5 类特征的共 23 个指标作为候选指标,用于构建温榆河公园 B-IBI 评价体系。

1.2.2 数据处理 (1)BI 值越高,表明受污染程度也高,生态状况就越差,见式(1):

$$BI = \sum_{i=1}^n n_i t_i / N \quad (1)$$

(2)优势度指数。当某种大型底栖动物的 Y 值 > 0.02 时,即为优势种群,见式(2):

$$Y = f_i \times P_i \quad (2)$$

(3)生物多样性指数。物种多样性指数值越高,区域中的生物种类越多、生物间的关系也越密切。

a)Shannon-Wiener 多样性指数,见式(3):

$$H' = - \sum_{i=1}^S \frac{n_i}{N} \times \ln \frac{n_i}{N} \quad (3)$$

b)Margalef 丰富度指数,见式(4):

$$d = (S - 1) / \ln N \quad (4)$$

c)Pielou 均匀度指数,见式(5):

$$J = H' / \ln S \quad (5)$$

式中: n_i 为第 i 种分类单元(通常为属级或种级)的个体数,个; t_i 为第 i 种分类单元的耐污值; N 为各分类单元个体数总和,个; f_i 为 i 种大型底栖动物在所有样品中出现的频率; P_i 为 i 种大型底栖动物数量占总量的比率; S 为总物种数,个^[18]。

2 结果与分析

2.1 群落结构特征分析

共采集鉴定温榆河公园 18 个监测点大型底栖动物 56 种,各监测点平均物种数为 7 种,隶属于 5 大类,其中寡毛类 3 种,蛭类 6 种,软体动物类 13 种,水生昆虫幼虫类 32 种,甲壳类 2 种。温榆河

公园共设的 18 个采样点中,大型底栖动物平均密度为 148 ind/m²(密度范围: 3 ~ 763 ind/m²),整体呈现出 10 月密度高于 7 月的趋势,密度最高的是 10 月 S2 点位为 763 ind/m²,密度最低的是 7 月的生物 S15 点位为 3 ind/m²,整体的物种丰富度相对较丰富。

从时间分布上看,7 月的物种密度总体比 10 月显著减少,而 7 月的物种数却相对较多,见图 2。经过对比发现,密度和物种数在数量上出现显著变化的为水生昆虫类,而在百分比上显著变化的为寡毛类与软体动物。水生昆虫幼虫类密度在 7 月较低,可能由于随夏季温度升高,水中 pH 升高,溶解氧降低,使得大多喜好在高氧环境的水体中生存的水生昆虫逃离或死亡^[19];而寡毛类的百分比在 10 月略高于 7 月,可能由于此时水体的总氮和总磷含量相对较高,这种营养水平高的生境易引起寡毛类密度和生物量的增加^[19],尤其是耐污值极高的霍甫水丝蚓和苏氏尾鳃蚓,与李晓明等^[20]对淮北塌陷湖分析的大型底栖动物季节动态情况一致。而软体动物的密度无明显变化,但占比降低,可能与它的生物节律有关系,软体动物在春季开始繁殖,夏季密度增加,秋季个体长大后,密度无明显变化,因此在其他物种增多后占比降低。

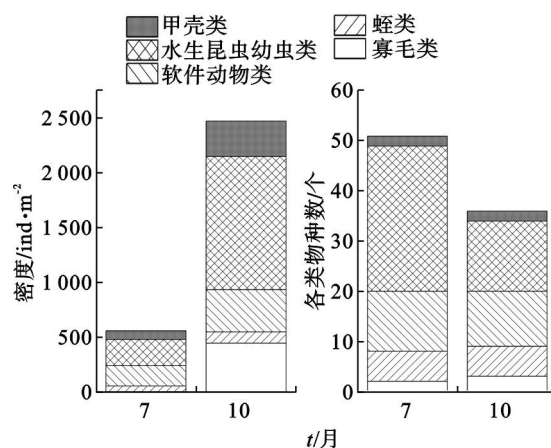


图 2 温榆河公园大型底栖动物密度及物种数时间变化
Fig. 2 Temporal changes in macrobenthic density and species numbers in the Wenyu River Park

从空间分布上看,各监测点的物种数都在 7 种左右,平均密度在 148 ind/m² 左右;从各监测点的总体分布来看,水生昆虫类有显著优势,在大多数点位的占比都超过 50%,软体动物类的占比也较高,多数点位高达 35%,见图 3 和图 4。S1、S2、S3 和 S4 点位分布于温榆河上游及辛堡闸附近,可能由于

上游受人类干扰较少,水生植物较多,生境较好,物种较丰富,而 S17 点位可能受到的人类干扰较多,此处的密度及物种数都最少,其他点位的物种数与密度分布差异不大,说明温榆河公园大型底栖动物的空间分布并无明显的差异,整体的物种丰富度水平相似。在物种组成的分布中,S15 和 S2 点位的物种数与密度与其他点位差别不大,但作为指示污染的寡毛类物种占比较多,说明虽然这 2 处的生物多样性较好,但水质状况较差,与该点位水质检测显示的结果一致。

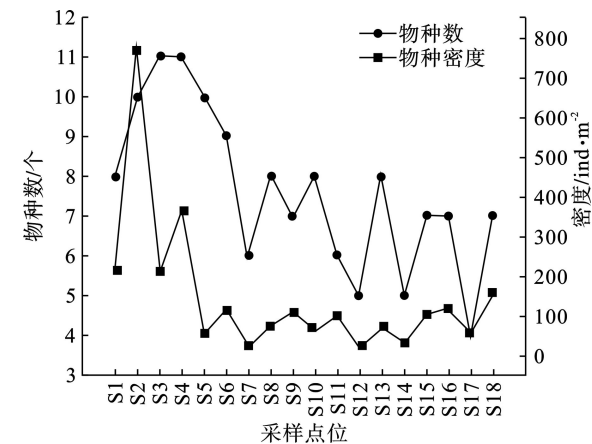


图 3 温榆河公园大型底栖动物物种数及密度空间变化
Fig. 3 Spatial variation in macrobenthic species numbers and densities in Wenyu River Park

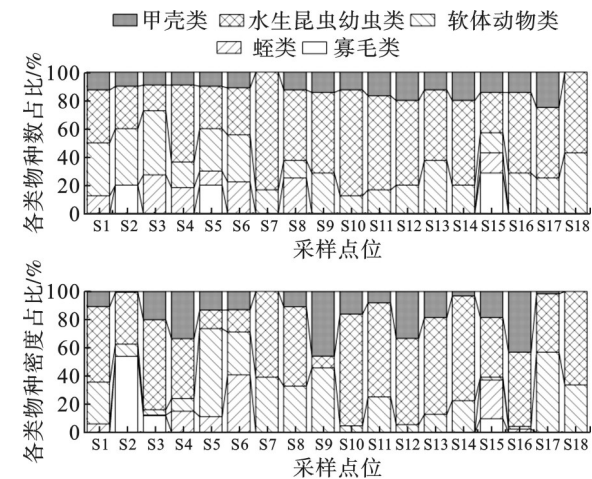


图 4 温榆河公园各类物种的空间分布
Fig. 4 Spatial distribution of various species in Wenyu River Park

2.2 B-IBI 评价

文献 [10 – 12] 及结合温榆河公园的实际情况,选取水质及生境较好的 S8、S9 和 S13 点位作为参照点;剔除了 25% 分位数 < 0.05 的指标 M2、M3、M19、M20 及无法准确反应人类干扰的指标 M5、M22;根据剩余指标参照点与受损点的箱型图重叠

状况(如无重叠, IQ(Inter quartile)=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 1 个中位数值在对方箱体范围之内, IQ=1; 各自中位数值都在对方箱体范围之内, IQ=0^[12])对比发现, IQ 值均 < 2, 表明参照点与受损点间的差异并不明显; 基于 SPSS19.0 统计分析软件, 对剩余 17 个指标进行 Spearman 相关性分析, 结果显示指标 M12 与 M14, M4 与 M16 相关系数 $r>0.75$ 具有高度相关性, 考虑到指标应包含较多的信息, 选择保留 M14 与 M16, 最后采用比值法计算生物指数值计算公式见表 1, 各核心指标分值之和即为 B-IBI 值。

表 1 比值法计算 15 个参数分值的公式
Table 1 Formulae for calculating the scores of the 15 parameters by the ratio method

参数	计算公式
总分类单元数 (M1)	$(13-M1)/(13-4)$
软体动物分类单元数 (M4)	$M4/3$
甲壳类分类单元数 (M6)	$M6/1$
Shannon-Wiener 指数 H' (M7)	$M7/1.5$
margalef 丰富度指数 d (M8)	$M8/1.85$
pielou 均匀度指数 J (M9)	$M9/0.76$
敏感类群分类单元数 (M10)	$M10/2$
耐污类群分类单元数 (M11)	$(5-M11)/(5-0)$
耐污类群百分比 (M13)	$(0.75-M13)/(0.75-0)$
BI 值 (M14)	$(7.62-M14)/(7.62-3.59)$
滤食者类群单元数 (M15)	$M15/3$
捕食者类群单元数 (M17)	$M17/3$
优势单元百分比 (M18)	$(0.96-M18)/(0.96-0.31)$
软体动物百分比 (M21)	$M21/0.34$
甲壳类百分比 (M23)	$M23/0.2$

按照参照点 B-IBI 值分布的 25% 分位数法进行指标体系的最终划分, 如果样点 B-IBI 值 $\geq$ 25% 分位数值, 则表示该样点受到的干扰很小, 处于“优”状态。<25% 分位数值的分布范围可根据需要进行四等分, 分别代表不同的生态状态, 最终确定温榆河公园大型底栖动物完整性评价标准。

通过 B-IBI 值可以看出温榆河公园大型底栖动物生物完整性状况相对较好, B-IBI 值的波动范围为 8.24 ~ 11.88, 平均值为 10.05, 最大值出现在 S8 点位; 有 4 个监测点处于“优”(>11.25), 15 个监测点处于“良”(8.44 ~ 11.25), 仅有 1 个处于“一般”

(5.63 ~ 8.44) 状况, 总体的完整性指数的分布范围具有比较明显的相似性, 说明整体的生态状况也相似。而不同监测点的大型底栖动物生物完整性呈现一定的差异性, 评价结果显示 S7、S14 和 S18 点位的大型底栖动物完整性相对较差, 可能原因为河道形态与河岸生境受人类活动干扰较大, 水体原有基底和两岸水生植物遭受一定破坏, 导致生境条件单一; 而 S5、S6、S8 和 S13 点位的生物完整性状况相对良好, S5、S6 和 S8 点位可能是由于受人为干扰较小, 河岸基本保持近自然状态, 生境状况较完好; 而 S13 点位位于示范区内, 可能是由于监测点附近所种植的水生植物较多, 说明生态自然修复成果显著。见图 5。

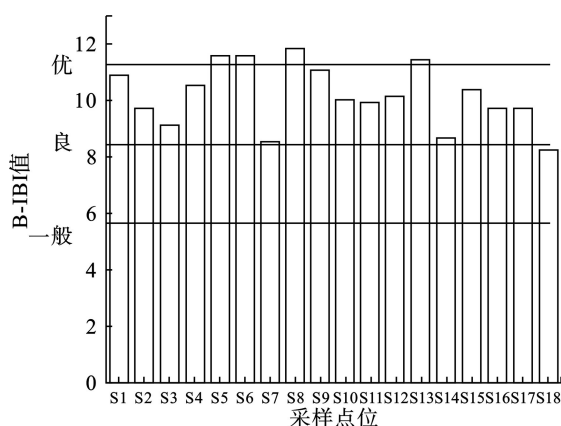


图 5 温榆河公园各监测点 B-IBI 值及评价

Fig. 5 B-IBI values and evaluation at each monitoring site in Wenyu River Park

2.3 BI 评价

温榆河公园流域共发现大型底栖动物 56 种, 根据各物种的耐污值判断, 敏感种只有 3 种, 占 5.36%, 即四节蜉、蜉和米虾; 耐污种有 16 种占 28.57%; 中污种有 37 种占 66.07%。耐污种是只有在污染的环境条件下才能生存的物种。像寡毛类的水丝蚓、水生昆虫类的摇蚊幼虫等专在有机物丰富的水体中生活、繁衍, 同时也指示水体污染较严重^[21]。而敏感种四节蜉、蜉和米虾都喜欢在清洁的水体中生活, 一旦水体受到污染、溶解氧不足时就不能生存。总体来看, 温榆河公园流域的敏感种和耐污种种类都相对较少, 大部分为中污种, 但已经有多个点位出现了指示清洁的物种, 如四节蜉和米虾, 说明温榆河公园的生态状况在逐渐变好。经过优势度和 BI 值的计算, 可以得到各监测点的优势种及 BI 值, 见表 2。BI 生物指数的波动范围为 3.59 ~ 7.62, 平均值为 5.17, 13.9% 的监测点处于最清洁状态, 52.8% 的监测点处于清洁状态, 22.2% 的监测点

处于轻污染状态, 11.1% 的点处于重污染状态; 综合大型底栖动物优势种和 BI 值的分布来看, 温榆河公园水体整体的生态状况较好, 但不同监测点间也存在一定的差异, S2、S7 和 S10 点位的 BI 值较大且优势种主要是污染指示作用较强的寡毛类与摇蚊属, 说明靠近居民区的河流, 受人类生产生活影响较大, 比较适合耐污种大型底栖动物的生长繁殖; S13、S16 和 S18 点位的 BI 值较小且优势种主要是敏感种四节蜉和米虾, 说明受污染程度小, 水质较好; 而 S13 和 S14 点位软体动物为优势种且占比较大, 可能是由于水生植物丰富, 这也表明水草对软体动物生长分布有一定积极影响。

2.4 物种多样性指数评价

各监测点的物种多样性指数, 见图 6。Shannon-Wiener 多样性指数的波动范围为 0.92 ~ 1.92, 平均值为 1.35, 最大值出现在 S5 点位; Margalef 物种丰富度指数的波动范围在 0.88 ~ 2.94 之间, 平均值为 1.63, 最大值出现在 S3 点位; Pielou 均匀度指数的波动范围 0.47 ~ 0.86, 平均值为 0.68, 最大值出现在 S11 点位。参照北京河流相关指数的分布范围^[22-23], 对比发现温榆河公园的多样性指数及物种丰富度范围接近于市区河流的状态, 说明温榆河公园的生物多样性还有待改善, 个别点位的物种分布较单一, 而且不同物种的分布不太均匀。综合 3 个指数来对各监测点进行评价, S5、S11 和 S13 点位的生态状况较好, S15、S17 和 S18 点位的生态状况较差, 可能与河流生境有关系, 胡涛^[6]在对北京密云水库及上游潮河、白河大型底栖动物的研究中得出, 在砂石或鹅卵石底质的采样点的大型底栖动物多样性和丰度较高, 因为大小合适的石块能够抵御急流冲刷, 提供安全的栖息环境, 且石块间的空隙还有利于有机碎屑的沉积^[18], 有机碎屑的沉积为集食者提供了丰富的食物来源, 满足了集食者摄食要求。研究发现温榆河公园的大型底栖动物类群集食者占比也相对较高, 达到 36.37%, 而刮食者和捕食者占比较少(分别为 15.69% 和 17.36%), 由此推断温榆河公园生境细颗粒物沉积较为普遍。与张宇航等^[22]发现整个北京河流撕食者、滤食者和捕食者类群相对退化的调查结果一致, 但温榆河公园的滤食者及捕食者的占比相对不低, 证明自然生态恢复的效果显著。

表 2 温榆河公园底栖各监测点的优势种及 BI 值
Table 2 Dominant species and BI values for each macrobenthic monitoring site in Wenyu River Park

监测点位	优势种	BI值
S1	环棱螺 (<i>Bellamya</i> sp.)、四节蜉 (<i>Baetis</i> sp.)、米虾 (<i>Caridina</i> sp.)	4.58
S2	霍甫水丝蚓 (<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i>)	6.45
S3	闪鳃 (<i>Corbicula nitens(philippi)</i>)	5.26
S4	螽 (<i>Caenagrion</i> sp.)、环足摇蚊 (<i>Cricotopus</i> sp.)、四节蜉 (<i>Baetis</i> sp.)、米虾 (<i>Caridina</i> sp.)	5.57
S5	螽 (<i>Caenagrion</i> sp.)、四节蜉 (<i>Baetis</i> sp.)、米虾 (<i>Caridina</i> sp.)	7.62
S6	苇氏巴蛭 (<i>Barbronia weberi</i>)、环棱螺 (<i>Bellamya</i> sp.)、米虾 (<i>Caridina</i> sp.)	5.42
S7	萝卜螺 (<i>Radix</i> sp.)、螽 (<i>Caenagrion</i> sp.)、亚洲瘦螽 (<i>Ischnura asiatica</i>)	6.18
S8	四节蜉 (<i>Baetis</i> sp.)、米虾 (<i>Caridina</i> sp.)	5.16
S9	萝卜螺 (<i>Radix</i> sp.)、豆螺 (<i>Bithynia</i> sp.)、螽 (<i>Caenagrion</i> sp.)、米虾 (<i>Caridina</i> sp.)	4.62
S10	亚洲瘦螽 (<i>Ischnura asiatica</i>)、猛摇蚊 (<i>Chironomus acerbiphilus</i>)、雕翅摇蚊 (<i>Glyptotendipes</i> sp.)、米虾 (<i>Caridina</i> sp.)	6.78
S11	萝卜螺 (<i>Radix</i> sp.)、亚洲瘦螽 (<i>Ischnura asiatica</i>)、米虾 (<i>Caridina</i> sp.)	6.02
S12	多足摇蚊 (<i>Polypedilum</i> sp.)、米虾 (<i>Caridina</i> sp.)	4.64
S13	豆螺 (<i>Bithynia</i> sp.)、螽 (<i>Caenagrion</i> sp.)、亚洲瘦螽 (<i>Ischnura asiatica</i>)、四节蜉 (<i>Baetis</i> sp.)	4.16
S14	萝卜螺 (<i>Radix</i> sp.)螽 (<i>Caenagrion</i> sp.)、亚洲瘦螽 (<i>Ischnura asiatica</i>)、四节蜉 (<i>Baetis</i> sp.)	5.01
S15	八目石蛭 (<i>Herpobodella octoculata</i>)、螽 (<i>Caenagrion</i> sp.)、米虾 (<i>Caridina</i> sp.)	5.24
S16	圆扁螺 (<i>Hippeutis</i> sp.)、螽 (<i>Caenagrion</i> sp.)、米虾 (<i>Caridina</i> sp.)	4.30
S17	圆扁螺 (<i>Hippeutis</i> sp.)、螽 (<i>Caenagrion</i> sp.)、四节蜉 (<i>Baetis</i> sp.)	4.79
S18	圆扁螺 (<i>Hippeutis</i> sp.)、四节蜉 (<i>Baetis</i> sp.)	3.59

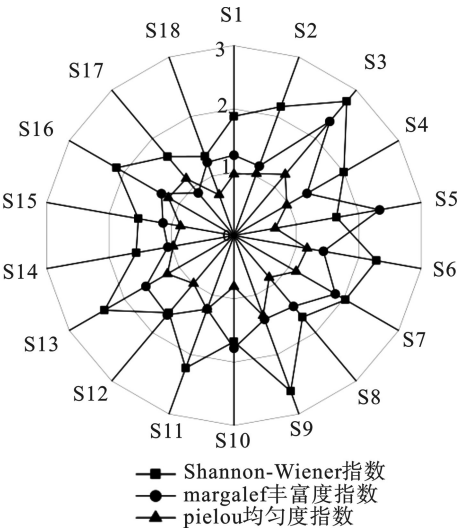


图 6 各监测点大型大型底栖动物生物多样性指数
Fig. 6 Macrobenthic biodiversity indices for each monitoring site

2.5 讨论

温榆河公园的大型底栖动物密度整体呈现出秋季高于夏季的趋势,但夏季的物种数较高,随季节变化在数量上有显著差异的为水生昆虫幼虫类,

而在占比上变化较大的为寡毛类与软体动物类;各监测点的大型底栖动物分布差异不大,整体的物种丰富度水平相似,水生昆虫幼虫类有显著优势。将上述 3 种方法分析的结果进行相关性分析,发现生物多样性指数与 B-IBI 评价方法得到的结果比较一致($P<0.01$),而利用 BI 值所反映的跟前两者存在较大差异,特别是对 S18 点位的评价。利用水质理化指标数据进行验证,证明 BI 值对温榆河公园的水生态状况的代表性不高,与实际的情况有些出入,可能由于个别点位的物种数量较少,导致 BI 值偏低,影响了最终的结果。而耐污值较大的大型底栖动物也可能存在于干净的水体中^[24],这样本来清洁的水体的 BI 值就会偏高,导致 BI 值的评价结果并不准确,所以不建议单独使用 BI 指数评价区域的水生态状况,但可以作为一个参考。对于温榆河公园 B-IBI 指标体系的建立,未能筛选出能够反映对温榆河公园大型底栖动物影响较大的指标,可能由于温榆河公园的河流生境较为相似,加上再生水补水 and 生态修复的人为干预,使参照点与其他各点

位间的差别减小;也可能因为 B-IBI 完整性指数及其评价标准的建立具有一定的主观性,如何选择参照点与候选参数都可能对指标的判别能力产生影响^[16],因此建议在生境丰富、受人类干扰有明显差异的流域使用这种方法。物种多样性指数可以用简单的数值来表示群落内种类多样性的程度,利用 3 个指数 Shannon-Wiener 多样性指数、Margalef 物种丰富度指数和 Pielou 均匀度指数可以比较系统而明晰地显示出生物群落的结构,同时也可以反映出生物群落和水生态状况之间的关系,但是仅考虑了采样点处物种的个体比例,未考虑物种本身对环境的耐受性^[24],展现不出不同物种间的差异,因此也需要将物种密度及不同物种间的关系一起分析。综合对比 3 种方法,结合温榆河公园实际情况,发现采用多样性指数来评价温榆河公园的水生生态状况最佳。

3 结论

(1)共采集鉴定温榆河公园 18 个监测点大型底栖动物 56 种,隶属于 5 大类,其中寡毛类 3 种,蛭类 6 种,软体动物类 13 种,水生昆虫幼虫类 32 种,甲壳类 2 种。平均物种数为 7 种,平均密度为 148 ind/m²,整体的物种数量相对较丰富,水生昆虫幼虫类和寡毛类的占比较大,螭、米虾和萝卜螺为主要优势种。

(2)通过时空尺度的相关分析发现,总氮总磷、温度与河流生境对温榆河公园大型底栖动物的影响较大,时间分布差异较大,空间分布差异不太明显。

(3)综合 3 种方法对温榆河公园水生态状况进行评价,结果显示总体的生物完整性较好,而物种丰富度和物种多样性还有待改善,水生态状况良好,基本处于轻污染的状态。对比了 3 种指数评价的优点与不足,确定目前最适用于评价温榆河公园水生态状况的方法为生物多样性指数评价法。

参考文献

- [1] MAXTED J R, BARBOUR M T. Data report: assessment framework for mid-Atlantic coastal plain streams using benthic macroinvertebrates[J]. *The north american benthological society*, 2000, 19(1): 128 - 144.
- [2] 陈文猛,王俊,胡晓东,等.邵伯湖底栖动物群落结构调查研究及水质生态评价[J]. *江苏水利*, 2020(8): 1 - 5.
- [3] 杨蓉,刘波,王东霞,等.基于不同方法的水生态健康评估—以北京市典型水体为例[J]. *中国环境监测*, 2022, 38(1): 165 - 174.
- [4] 李中宇,金小伟,刘继凤,等.应用底栖动物为指示生物的松花江干流水生态预警研究[J]. *生态毒理学报*, 2017, 12(5): 161 - 169.
- [5] 李黎,王瑜,林岍璇,等.河流生态系统指示生物与生物监测:概念、方法及发展趋势[J]. *中国环境监测*, 2018, 34(6): 26 - 36.
- [6] 胡涛.北京密云水库及上游潮,白河大型底栖动物群落结构和水质生物评价[D].武汉:华中农业大学,2017.
- [7] 陈静,蒋万祥,贺诗水,等.新薛河底栖动物物种多样性与功能多样性研究[J]. *生态学报*, 2018, 38(9): 3328 - 3336.
- [8] 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.
- [9] 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): 1481 - 1490.
- [10] 王旭,王恒嘉,王永刚,等.基于大型底栖动物完整性指数(B-IBI)的密云水库上游河流(北京段)水生态健康评价[J]. *生态与农村环境学报*, 2022, 38(2): 157 - 167.
- [11] 李文君,康立新,赵燕楚,等.基于大型底栖动物完整性指数的白洋淀湿地水生态系统健康状况评价研究[J]. *环境科学与管理*, 2022, 47(3): 164 - 168.
- [12] 孔凡青,崔文彦,周绪申.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.
- [13] 王琰,吴阿娜,汤琳.基于底栖动物完整性指数的长江口-杭州湾潮间带水生态状况评价[J]. *中国环境监测*, 2022, 38(1): 72 - 85.
- [14] 李斌,李先福,唐涛,等.基于大型底栖动物完整性指数评价深圳茅洲河生态状况[J]. *水生态学杂志*, 2021, 42(5): 62 - 68.
- [15] 渠晓东,陈军,陈皓阳,等.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[J]. *水生态学杂志*, 2021, 42(3): 14 - 22.
- [16] 盛萧,毛建忠,曹然,等.基于 5 种大型底栖动物评价指数的河流生态健康评价[J]. *水资源保护*, 2017, 33(1): 75 - 82.
- [17] 耿世伟,渠晓东,张远,等.大型底栖动物生物评价指数比较与应用[J]. *环境科学*, 2012, 33(7): 2281 - 2287.
- [18] 段雪花,王兆印,徐梦珍.底栖动物与河流生态评价[M].北京:清华大学出版社,2010.
- [19] ANTUNES S C. Assessment of the benthic macroinvertebrate communities in the evaluation of the water quality of portuguese reservoirs: An experimental approach[J]. *Water*, 2021, 13(23): 3391.
- [20] 李晓明,丁建华.淮北采煤塌陷湖大型底栖动物群落结构季节动态研究[J]. *生物学杂志*, 2016, 33(6): 57 - 61.
- [21] KELLY C, MITRASETIA T, SUGARDJITO J. An assessment of a tropical urban stream using benthic macroinvertebrates as a bio-indicator in Muara Angke, Jakarta, Indonesia[J]. *UNS Solo*, 2017, 7(2): 65 - 73.
- [22] 张宇航,张敏,张海萍,等.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*, 2018, 13(4): 101 - 110.
- [23] 贺玉晓,李珂,任玉芬,等.春季北京市河流大型底栖动物群落结构特征及影响因子分析[J]. *环境科学*, 2020, 41(6): 2951 - 2962.
- [24] 惠晓梅,王爱花,李超,等.沁河山西段大型底栖动物多样性及水质生物评价[J]. *山西大学学报(自然科学版)*, 2019, 42(1): 253 - 264.