

基于浮游动物群落特征的渭河橡胶坝景观河流水质生物学评价

王西锋¹, 万军芳², 王永平¹, 孙长顺¹, 李明³, 胡恩¹

(1.陕西省环境科学研究院, 西安 710061; 2.甘肃省建筑设计研究院, 兰州 730030;

3.西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 为了解城市景观河流浮游动物群落结构以及水生态环境状况, 于2018年对渭河关中段4个城市景观河流开展季节性采样, 共计鉴定出浮游动物78种, 其中轮虫46种, 枝角类和桡足类分别为14和18种。全年浮游动物总密度介于 $0.452 \sim 7.482 \times 10^3$ ind./L, 轮虫密度占总密度的83.51%。全年浮游动物总生物量介于 $0.207 \sim 6.834$ mg/L, 以枝角类、桡足类为主, 占总生物量的74.05%。全年浮游动物优势种属17个, 萼花臂尾轮虫(*Brachionus calyciflorus*)、蒲达臂尾轮虫(*Branchionus budapestiensis*)、针簇多肢轮虫(*Polyarthra trigla*)、矩形龟甲轮虫(*Keratella quadrata*)等优势度较高, 优势种多为中污染或富营养水体的指示种。Shannon-Wiener多样性指数(H')春、夏、秋、冬季均值为2.27, 2.72, 2.06, 2.13; Margalef丰富度指数(d)均值分别为0.990, 0.069, 0.020, 0.830; Pielou均匀度指数(J)均值分别为0.32, 0.02, 0.01, 0.24。浮游动物生物学评价结果表明, 渭河关中段景观河流水质总体呈中污染—重度污染状态。

关键词: 渭河流域; 景观河流; 浮游动物; 水质生物评价

中图分类号: Q958

文献标志码: A

河流是生物生存所依赖的重要自然资源。随着城市化快速发展, 人们在流经城市的天然河道修筑大量拦水坝(多为橡胶坝), 营造大水面景观, 从而提升城市形象。然而, 拦河筑坝对天然河道生态系统影响较大^[1], 改变了河流水文过程, 导致城市河流湖泊化转变^[2], 促进氮、磷等生源要素在坝体积聚, 加速河道富营养化或发生藻华^[3], 部分景观河流甚至转变为城市黑臭水体。

浮游动物是河流生态系统重要的组成部分, 是水生态系统食物网物质转化、能量流动和信息传递的重要纽带。它们作为初级消费者以浮游植物、微生物和残渣碎屑为食, 自身可被作为中上层鱼类和其他经济动物的饵料^[4-5]。由于其个体小、繁殖快、对环境要素反应敏感, 在评价水体营养状态、水质污染状况以及指示水生态系统健康方面有重要的作用^[6-7]。目前城市水体浮游动物生态学监测研究多分布在上海、广州等南方水网发达的区域, 研究内容侧重于浮游动物群落结构特征与环境因子的关系以及水质生物学评价等方面^[8-9]。在干旱半干旱地区, 城市水体浮游动物研究关注较少^[10], 橡胶坝景观河流的浮游动物群落结构及水质生物学评价调查研究更是鲜有报道。本研究通过对渭河关中段4处橡胶坝城市景观河流开展浮游动物群落结构研究, 以为渭河乃至黄河流域典型城市河道水生态环境保护和开发利用提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域及采样点

渭河是黄河最大的一级支流, 发源于甘肃省渭源县, 于陕西潼关汇入黄河。渭河关中段流域接纳了大量的

收稿日期: 2021-10-17; 修回日期: 2021-12-18.

基金项目: 国家自然科学基金(51979236); 陕西省重点研发计划重点产业链(群)项目(2021ZDLSF05-10); 陕西省重点研发计划项目(2019SF-236).

作者简介: 王西峰(1985—), 男, 陕西凤翔人, 陕西省环境科学研究院高级工程师, 研究方向为水污染防治, E-mail: 329024145@qq.com.

通信作者: 胡恩, 博士, 陕西省环境科学研究院高级工程师, E-mail: huen777@163.com.

工业、农业以及城市生活污水,氮、磷等营养元素水平较高,关中城市河流闸坝众多,本文在渭河干流及其支流沔河、泾河、灞河各选 1 处橡胶坝类型景观水体,于 2018 年 1 月、4 月、8 月、11 月(分别代表冬季、春季、夏季、秋季),开展浮游动物群落调查研究。

1.2 样品的采集与分析

浮游动物定性样品用 25 号浮游生物网在水面下约 0.5 m 处呈“∞”状缓慢拖行数分钟,采集后转移入样品瓶中,加入体积分数 4% 的甲醛溶液固定;定量样品用 5 L 采水器采集混合水样 20 L,经 25 号浮游生物网(孔径 64 μm)过滤后收集样品装入 100 mL 样品瓶,甲醛溶液固定(同上),实验室静置 48 h 后浓缩至 30 mL 用于鉴定和计数。

1.3 数据处理

利用浮游动物 Shannon-Wiener 多样性指数(H')、Margalef 丰富度指数(d)、Pielou 均匀度指数(J)评价水质状况;用优势度指数(Y)反映浮游动物优势度^[11]。

2 结果与分析

2.1 水体理化参数

渭河及其支流 4 处橡胶坝景观河流理化参数见表 1,pH 全年变化不显著;TN,TP 浓度较高,秋冬两季高于春夏,超过《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)湖(库) V 类标准和的 IV 类标准,COD_{Mn} 介于 III 类和 IV 类之间。

表 1 景观水体理化参数

Tab. 1 Physical-chemical characteristics of scenic rivers

理化参数	2018 年 1 月	2018 年 4 月	2018 年 7 月	2018 年 10 月
pH	8.08±0.62	7.85±0.7	8.50±0.56	8.35±0.55
水温/°C	4.43±1.62	19.75±2.48	31.03±1.51	12.63±1.23
电导率/(10 ⁻⁴ s·m ⁻¹)	45.45±17.65	39±19.01	57.75±9.32	70.18±11.73
溶氧/(mg·L ⁻¹)	14.93±2.49	7.70±1.43	7.26±2.59	9.24±3.02
总氮/(mg·L ⁻¹)	7.75±0.65	5.05±1.59	4.49±0.51	6.87±2.19
总磷/(mg·L ⁻¹)	0.21±0.06	0.17±0.04	0.15±0.02	0.20±0.16
高锰酸盐指数/(mg·L ⁻¹)	5.48±2.11	5.85±2.22	6.20±0.87	4.87±0.58

2.2 浮游动物群落结构特征

2018 年,渭河关中段 4 处橡胶坝景观河流全年共检出浮游动物 78 种.如图 1 所示,春季检出浮游动物 18 种,其中轮虫 11 种,枝角类 4 种,桡足类 3 种;夏季共检出浮游动物 22 种,轮虫 12 种,枝角类 3 种,桡足类 7 种;秋季共检出浮游动物 20 种,轮虫 11 种,枝角类 5 种,桡足类 4 种;冬季共检出浮游动物 18 种,轮虫 12 种,枝角类 2 种,桡足类 4 种.景观河流各季节检出的轮虫种类数量最多,枝角类与桡足类较少。

2.3 浮游动物密度与生物量

浮游动物总密度季节变化在 $0.452 \times 10^3 \sim 7.48 \times 10^3$ ind./L,均值为 2.45×10^3 ind./L.如图 2 所示,浮游动物总密度从高到低依次为秋、夏、春、冬.轮虫密度占浮游动物总密度的 83.51%,其在秋季密度达到最高。

浮游动物总生物量为 0.207~6.834 mg/L,均值为 2.679 mg/L.如图 3 所示,浮游动物总生物量大小依次为秋、夏、春、冬.浮游动物生物量以枝角类和桡足类为主,其生物量占总生物量的 74.05%,轮虫生物量只在灞河的春秋冬季以及沔河的夏秋冬季高于枝角类与桡足类。

2.4 浮游动物优势种

浮游动物优势种如表 2 所示.浮游动物优势种全年共 17 个.其中春季优势种 5 个,萼花臂尾轮虫(*Branchionus calyciflorus*)优势度最高,为 0.38;夏季 7 种,蒲达臂尾轮虫(*Branchionus budapestiensis*)占优,为 0.196;秋季 4 种,针簇多肢轮虫(*Polyarthra trigla*)优势度最高,为 0.177;冬季 6 种,矩形龟甲轮虫(*Keratella quadrata*)占优,优势度为 0.095.萼花臂尾轮虫全年均为优势种。

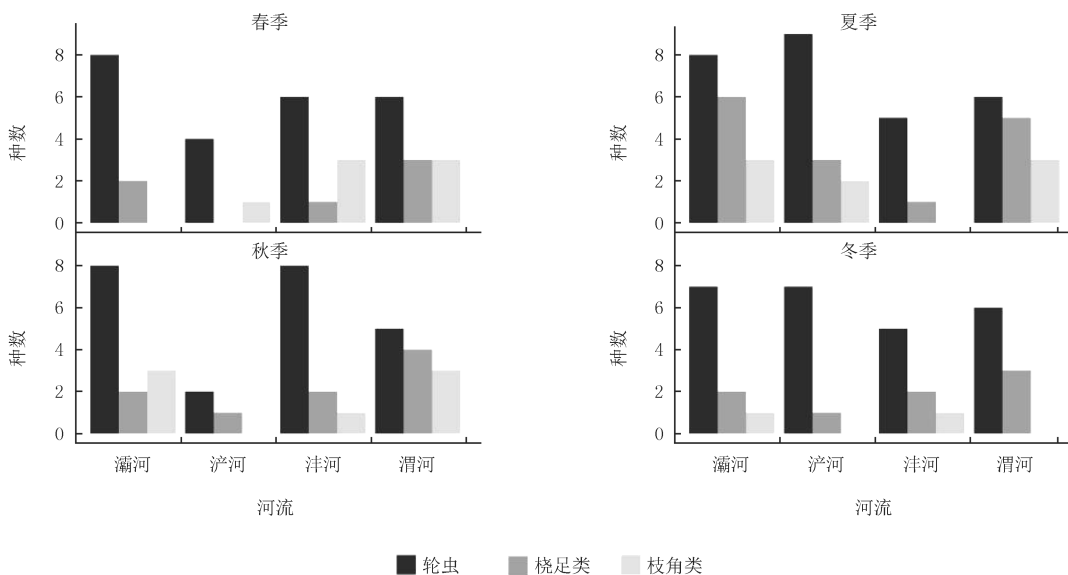


图1 浮游动物种类数量

Fig.1 Species composition of zooplankton

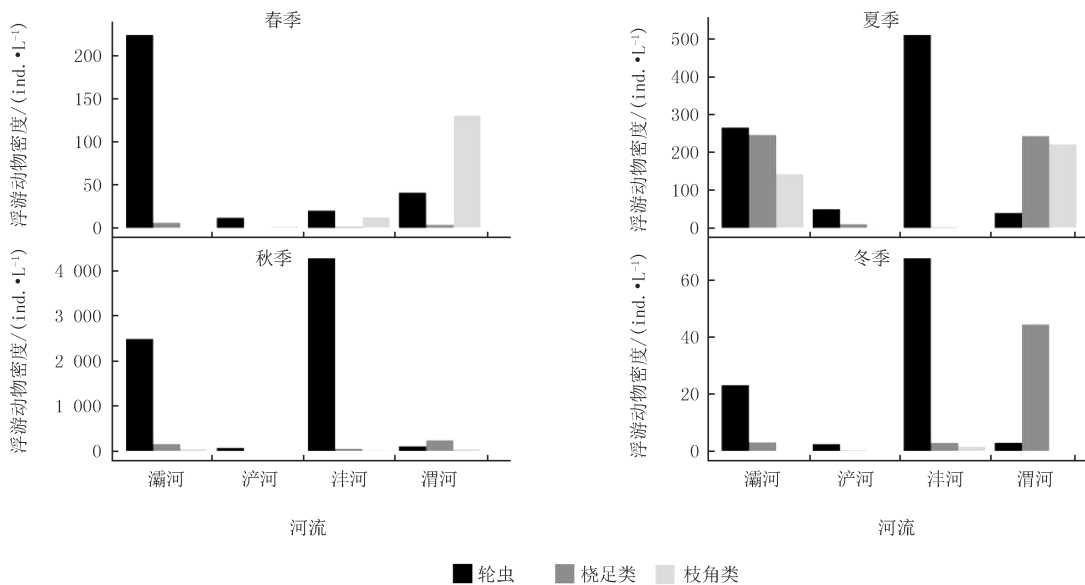


图2 浮游动物密度季节变化

Fig.2 Temporal variation of zooplankton density

表 2 浮游动物优势种及其优势度

Tab. 2 Dominant species and dominance of zooplankton

季节	浮游动物优势种(优势度/出现频率)
春季	萼花臂尾轮虫(0.38/1)、裸腹蚤(0.119/0.5)、壶状臂尾轮虫(0.073/0.75)、象鼻蚤(0.046/0.75)、浦达臂尾轮虫(0.024/0.5)
夏季	浦达臂尾轮虫(0.196/0.5)、小剑水蚤(0.092/0.75)、萼花臂尾轮虫(0.078/1)、秀体蚤(0.075/0.75)、象鼻蚤(0.066/0.75)、卜氏晶囊轮虫(0.051/1)、多肢轮虫(0.031/0.25)
秋季	针簇多肢轮虫(0.177/0.5)、螺形龟甲轮虫(0.147/0.5)、曲腿龟甲轮虫(0.117/0.75)、萼花臂尾轮虫(0.094/1)
冬季	矩形龟甲轮虫(0.095/0.5)、近邻剑水蚤(0.095/0.5)、矩形臂尾轮虫(0.072/0.25)、前节晶囊轮虫(0.035/0.5)、萼花臂尾轮虫(0.034/1)、长三肢轮虫(0.029/0.25)

2.5 浮游动物多样性指数

浮游动物多样性指数 H' 春、夏、秋、冬均值分别为 2.27, 2.72, 2.06, 2.13, 评价结果均为中污染; 丰富度指

数 d 均值为 0.990,0.069,0.020,0.830,评价结果均为重污染;均匀度指数 J 均值为 0.32,0.02,0.01,0.24,评价结果为中污染~重污染(图 4).

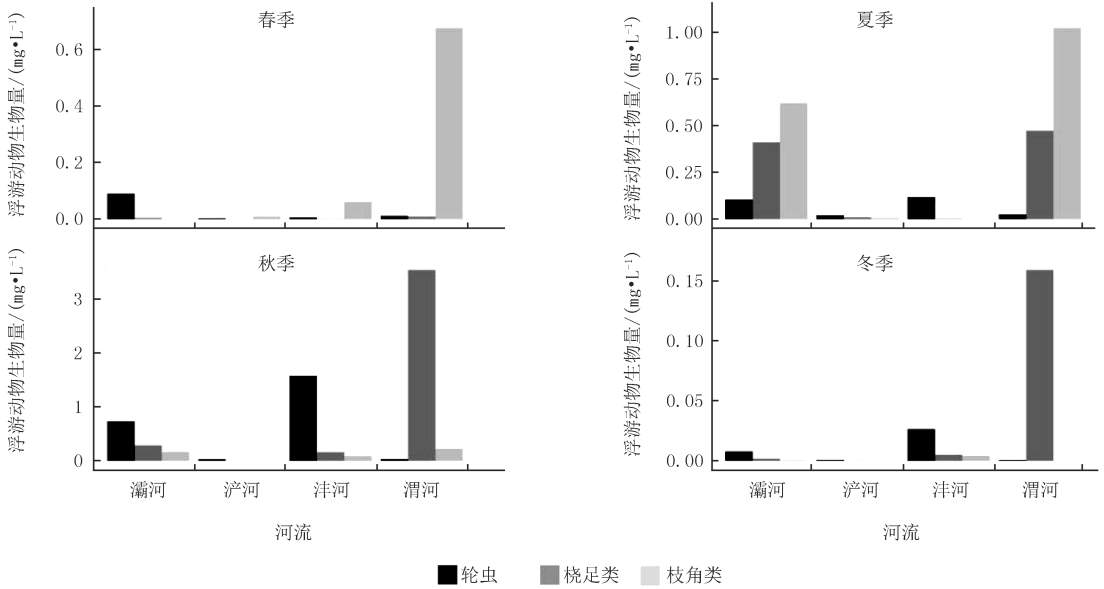


图3 浮游动物生物量季节变化

Fig.3 Temporal variation of zooplankton biomass

3 讨 论

渭河关中段 4 处橡胶坝景观河流浮游动物种类个数、密度均以轮虫为主,生物量则以体型较大的枝角类和桡足类占优.与枝角类和桡足类相比,轮虫孤雌生殖,个体小、发育快、生命周期较短,常在淡水生态系统占据优势^[12].由于橡胶坝阻隔,天然河道流速变缓,更有利于浮游动物群落聚集和快速繁殖^[13].景观河流浮游动物物种个数、密度以及生物量有明显的季节差异,夏秋季高于冬春季.水温是影响浮游动物生长繁殖差异最重要环境因子之一,决定着浮游动物的体温和新陈代谢速率.较高的水温有助于促进浮游动物生长发育^[14-15].

浮游动物优势种全年共 17 个,其中轮虫 12 种,枝角类 5 种,桡足类 5 种.轮虫多以臂尾轮虫为主,龟甲轮虫属、晶囊轮虫属优势度也较高.枝角类的象鼻溞属和桡足类的剑水蚤属在个别季节成为优势种.萼花臂尾轮虫全年均为优势种.研究表明,臂尾轮虫类大多在中污染或者富营养水体中形成优势^[16].曲腿龟甲轮虫、针簇多肢轮虫、螺形龟甲轮虫等则为中污染水体指示种^[17].枝角类象鼻溞属多出现在中富营养水体中^[11].以上优势种的出现或可作为判断渭河景观河流水质及营养状况的指示物种,未来需要长期调查研究.渭河关中段人类活动密集,城市污水排放强度大,水体氮、磷浓度高,橡胶坝景观河流流速缓慢,已趋于富营养化湖泊的特点,同期调查发现,几个采样点全

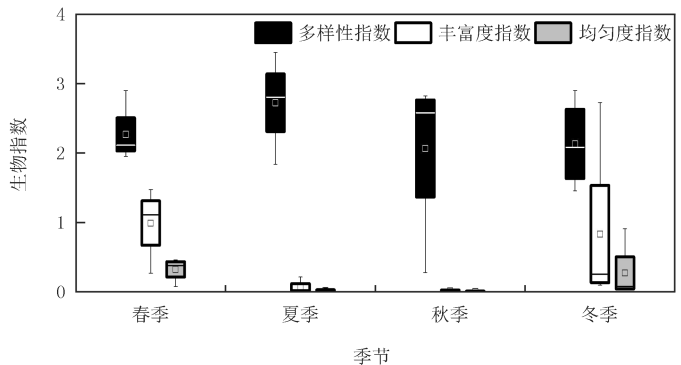


图4 浮游动物多样性指数、均匀度指数和丰富度指数

Fig.4 Shannon-wiener index,pielou index and margalef index of zooplankton

年浮游植物平均密度可达 $1.02 \times 10^7 \sim 3.31 \times 10^7$ ind./L.

水生生物多样性指数广泛应用于水环境质量和水生态健康评价研究^[18].调查评价结果发现,渭河景观河流浮游动物多样性指数(H')、均匀度指数(J)、丰富度指数(d)季节变化趋势较为一致,春冬两季略高于夏秋季,水质评价结果相对较好.总体来看,3种生物多样性指数与景观河流水质生物学评价结果较为一致,全年均处于中污染~重污染状态,能够较为准确反映渭河关中段橡胶坝景观河流水环境质量的实际状况.

4 结 论

- 1)景观河流全年共检出浮游动物 78 种,种类组成、细胞密度均以轮虫为主,生物量枝角类、桡足类占优;
- 2)浮游动物优势种共 17 个,其中轮虫 12 种,枝角类和桡足类 5 种,且多为中污染或富营养水体的常见种;
- 3)渭河关中段橡胶坝景观河流处于中污染~重污染状态.

参 考 文 献

- [1] 鲍林林,李叙勇,智仕杰,等.张家口市河流筑坝与硬化的生态系统健康影响研究[J].水生态学杂志,2021,42(1):1-9.
BAO L L, LI X Y, ZHI S J, et al. Effects of damming and channel hardening on river ecosystem health in Zhangjiakou City[J]. Journal of Hydroecology, 2021, 42(1): 1-9.
- [2] 史邵华.河流浮游植物群落对筑坝引发的异质性水文环境的响应:以三峡水库为例[D].重庆:西南大学,2018.
SHI S H. Responses of river phytoplankton community to heterogeneous hydrological environment induced by damming: a case study of Three Gorges Reservoir[D]. Chongqing: Southwest University, 2018.
- [3] BAO L L, LI X Y, CHENG P. Phosphorus retention along a typical urban landscape river with a series of rubber dams[J]. Journal of Environmental Management, 2018, 228: 55-64.
- [4] 宋高飞,朱宇轩,米武娟,等.武汉市湖泊浮游动物群落特征及其影响因素[J].河南师范大学学报(自然科学版),2022,50(3):135-142.
SONG G F, ZHU Y X, MI W J, et al. Characteristics of zooplankton community and their influencing factors in lakes of Wuhan[J]. Journal of Henan Normal University(Natural Science Edition), 2022, 50(3): 135-142.
- [5] SOUZA C A, BEISNER B E, VELHO L F M, et al. Impoundment, environmental variables and temporal scale predict zooplankton beta diversity patterns in an Amazonian River Basin[J]. The Science of the Total Environment, 2021, 776: 145948.
- [6] 陈佳琪,赵坤,曹玥,等.鄱阳湖浮游动物群落结构及其与环境因子的关系[J].生态学报,2020,40(18):6644-6658.
CHEN J Q, ZHAO K, CAO Y, et al. Zooplankton community structure and its relationship with environmental factors in Poyang Lake[J]. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(18): 6644-6658.
- [7] 许林晓,林声.2001—2020年全国水资源变化趋势分析[J].灌溉排水学报,2021,40(S2):1-5.
XU L X, LIN S. Analysis on the change trend of national water resources from 2001 to 2020[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2021, 40(S2): 1-5.
- [8] 陈皓.上海市主要景观水体浮游动物群落特征及水质评价[D].上海:上海师范大学,2015.
CHEN A. Zooplankton community and water quality assessment of main landscape waters in Shanghai[D]. Shanghai: Shanghai Normal University, 2015.
- [9] 陈光荣.广东省城市湖泊浮游动物群落特征及生态效应研究[D].广州:暨南大学,2007.
CHEN G R. Study on community characteristics of zooplankton and its ecological effect in urban lakes of Guangdong Province[D]. Guangzhou: Jinan University, 2007.
- [10] 陈红,刘清,潘建雄,等.灞河城市段浮游生物群落结构时空变化及其与环境因子的关系[J].生态学报,2019,39(1):173-184.
CHEN H, LIU Q, PAN J X, et al. Spatial and temporal variation of the plankton community and its relationship with environmental factors in the city section of the Ba River[J]. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(1): 173-184.
- [11] 王文侠,陈非洲,谷孝鸿.南京市5座中型水库浮游动物群落结构及其与环境因子的关系[J].湖泊科学,2017,29(1):216-223.
WANG W X, CHEN F Z, GU X H. Community structures of zooplankton and its relation to environmental factors in five medium reservoirs in Nanjing City[J]. Journal of Lake Sciences, 2017, 29(1): 216-223.
- [12] 吴利,冯伟松,张堂林,等.湖北省西凉湖浮游动物群落周年动态变化及其与环境因子的关系[J].湖泊科学,2011,23(4):619-625.
WU L, FENG W S, ZHANG T L, et al. The annual fluctuation of zooplankton community and its relation with environmental factors in Lake Xiliang, Hubei Province[J]. Journal of Lake Sciences, 2011, 23(4): 619-625.
- [13] LI K, XU T, XI J Y, et al. Multi-factor analysis of algal blooms in gate-controlled urban water bodies by data mining[J]. The Science of the Total Environment, 2021, 753: 141821.

- [14] EVANS L E, HIRST A G, KRATINA P, et al. Temperature-mediated changes in zooplankton body size: large scale temporal and spatial analysis[J]. *Ecography*, 2020, 43(4): 581-590.
- [15] MARINO J A, VANDERPLOEG H A, POTHOVEN S A, et al. Long-term survey data reveal large predator and temperature effects on population growth of multiple zooplankton species[J]. *Limnology and Oceanography*, 2020, 65(4): 694-706.
- [16] 许浩, 白承荣, 蔡舰, 等. 城市重污染河道治理不同阶段中浮游动物群落的变化[J]. *环境污染与防治*, 2018, 40(11): 1271-1278.
XU H, BAI C R, CAI J, et al. Dynamics of zooplankton communities during different stages of remediation process of heavily polluted urban river[J]. *Environmental Pollution & Control*, 2018, 40(11): 1271-1278.
- [17] 胡艺, 李秋华, 何应, 等. 贵州高原水库浮游动物分布特征及影响因素: 以阿哈水库为例[J]. *中国环境科学*, 2020, 40(1): 227-236.
HU Y, LI Q H, HE Y, et al. Spatial and temporal distribution characteristics and influencing factors of metazooplankton in Aha Reservoir, Guizhou Province[J]. *China Environmental Science*, 2020, 40(1): 227-236.
- [18] 李学军, 张景晓, 于森, 等. 黄河流域底栖动物调查研究进展[J]. *河南师范大学学报(自然科学版)*, 2022, 50(2): 36-47.
LI X J, ZHANG J X, YU M, et al. Progresses of macrozoobenthic investigation in Yellow River Basin[J]. *Journal of Henan Normal University(Natural Science Edition)*, 2022, 50(2): 36-47.

Zooplankton community structure and water quality bio-assessment of rubber dam scenic rivers of Wei River Basin

Wang Xifeng¹, Wan Junfang², Wang Yongping¹, Sun Changshun¹, Li Ming³, Hu En¹

(1. Shaanxi Provincial Research Academy of Environmental Science, Xi'an 710061, China; 2. Gansu Institute of Architectural Design and Research, Lanzhou 730030, China; 3. College of Natural Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling 712100, China)

Abstract: In order to explore the zooplankton community structure and water quality of urban scenic rivers, seasonal investigation were conducted in Guanzhong section of Wei River Basin in 2018. A total of 78 genera or species of zooplankton were identified, among which 46 species of rotifers, 14 species of cladocerans, and 18 species of copepods. The zooplankton density ranged 0.452 to 7.482×10^3 ind./L, and the rotifer contributed 83.51% of the total zooplankton abundance. The total biomass of zooplankton ranged from 0.207 to 6.834 mg/L, cladocerans and copepods accounted for 74.05% of the total biomass. There were 17 dominant species of zooplankton in the whole year, mainly *Brachionus calyciflorus*, *Brachionus budapestiensis*, *polyarthra trigla* and *Keratella quadrata*, all of which are indicators of moderately polluted or eutrophic water bodies. With reference to the zooplankton diversity in four quarters, the average Shannon Wiener index(H') were 2.27, 2.72, 2.06 and 2.13, while Margalef diversity index(d) were 0.99, 0.069, 0.02 and 0.83 and Pielou evenness index(J) were 0.32, 0.02, 0.01 and 0.24. The results of zooplankton biodiversity index showed that the water quality of urban scenic rivers in Guanzhong section of Weihe River Basin was in the state of medium pollution to heavy pollution.

Keywords: Wei River Basin; urban scenic river; zooplankton; water quality bio-assessment

[责任编辑 刘洋 杨浦]