

大伙房水库及入库支流水质现状和 水生生物群落结构特征*

陈 兰^{1,2,3} 张洛红¹ 黄道建^{2,3} 黄楚珊^{2,3} 冯雁辉² 安 坤² 王留锁⁴
于云江^{2,3} 张丽娟^{2,3#} 胡国成^{2,3}

(1.西安工程大学环境与化学工程学院,陕西 西安 710048;2.生态环境部华南环境科学研究所,广东 广州 510535;
3.国家环境保护环境污染健康风险评估重点实验室,广东 广州 510535;
4.辽宁省生态环境保护科技中心,辽宁 沈阳 110161)

摘要 大伙房水库是辽宁省重要的水源地之一,2019年10月(枯水期)对大伙房水库及其3条入库支流的13个样点的水质指标和水生生物群落结构进行了调查。结果显示:大伙房水库及其入库支流超过目标标准的主要项目是总氮、化学需氧量和总磷;共检出68种浮游植物、13种浮游动物和36种底栖动物;水体水质总体处于轻污染至中污染状态;大伙房水库污染物已发生了一定的沉积,富营养化水平高于入库支流;典范对应排序分析表明,影响水生生物群落结构的主要水质指标是溶解氧、高锰酸盐指数和氨氮。为避免大伙房水库水体过快富营养化,有必要控制外源营养盐和有机物的输入。

关键词 水质现状 水生生物 群落结构 大伙房水库

DOI:10.15985/j.cnki.1001-3865.2021.07.006

Water quality status and characteristics of aquatic community structure in Dahuofang Reservoir and its tributaries CHEN Lan^{1,2,3}, ZHANG Luohong¹, HUANG Daojian^{2,3}, HUANG Chushan^{2,3}, FENG Yanhui², AN Kun², WANG Liusuo⁴, YU Yunjiang^{2,3}, ZHANG Lijuan^{2,3}, HU Guocheng^{2,3}. (1. College of Environmental and Chemical Engineering, Xi'an Polytechnic University, Xi'an Shaanxi 710048; 2. South China Institute of Environmental Sciences, Ministry of Ecology and Environment, Guangzhou Guangdong 510535; 3. State Environmental Protection Key Laboratory of Environmental Pollution Health Risk Assessment, Guangzhou Guangdong 510535; 4. Ecological Environmental Protection Technology Center of Liaoning Province, Shenyang Liaoning 110161)

Abstract: Dahuofang Reservoir is one of the most important water sources in Liaoning Province. In October 2019 (drought period), the water quality indexes and aquatic community structure of 13 sampling points in Dahuofang Reservoir and its 3 tributaries were investigated. Results showed that the water quality indexes, which exceeded the target standards, were total nitrogen, chemical oxygen demand and total phosphorus. 68 species of phytoplankton, 13 species of zooplankton and 36 species of benthic animals were identified. The water quality was at light-medium pollution state, in general. The pollutants in Dahuofang Reservoir was sunk, leading to eutrophication level higher than the tributaries. Canonical correspondence analysis revealed that the dissolved oxygen, permanganate index and ammonia nitrogen were the key water quality indexes that affected the aquatic community structure. It was necessary to control exogenous nutrients and organic matter input so as to lower the process of eutrophication.

Keywords: water quality status; aquatic organisms; community structure; Dahuofang Reservoir

水生生物是水生态系统的重要组成部分^[1],水生生物作为水质生物监测的重要指标,越来越多地被应用到世界各国的水体生态健康评价中^[2]。研究包括浮游植物、浮游动物和底栖动物的水生生物群落结构特征可为水质评价和水体污染综合治理提供理论指导^[3-5]。

大伙房水库是辽宁省重要的水源地之一^[6],其水源来自浑河、苏子河和社河,分别占入库水量的

53%、37%、10%,大伙房水库的水质现状和水生生物群落结构必然受到入库支流的影响。然而,以往研究大伙房水库时忽略了入库支流的影响。

本研究通过对大伙房水库及入库支流水质现状和水生生物群落结构的系统调查,研究水体污染情况与水生生物群落结构的相关性,为保护大伙房水库水环境健康提供更全面的科学依据,也为辽河流域水环境污染控制与治理提供数据支撑。

第一作者:陈 兰,女,1995年生,硕士研究生,主要从事水生态研究。# 通讯作者。

* 水体污染控制与治理科技重大专项(No.2018ZX07601-002),广东省水利科技创新项目(No.2016-01)。

1 材料与方法

1.1 采样时间和样点布置

由于枯水期降雨量少,水体环境相对稳定^[7],因此于2019年10月(枯水期)开展大伙房水库及入库支流的采样调查。图1为样点布置图,在大伙房水库中共设7个样点,分别为D-1、D-2、D-3、D-4、D-5、D-6和D-7;浑河上游为入库河流,设了3个取样点,分别为H-1、H-2和H-3,同时在下流出库河流也设了1个样点,为H-4;苏子河和社河均为较短入库支流,各设1个样点,分别为SZ-1和S-1。

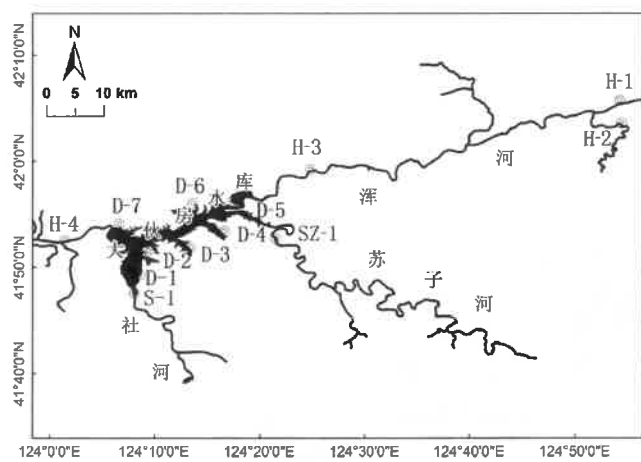


图1 样点布置图

Fig.1 Location of sampling points

1.2 水样的采集和测定

按照《水质采样技术指导》(HJ 494—2009)的要求采集水样,溶解氧(DO)、总磷(TP)、总氮(TN)、五日生化需氧量(BOD₅)、化学需氧量(COD)、高锰酸盐指数和氨氮按照《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)中要求的方法进行测定。

1.3 水生生物样品的采集和处理

浮游植物和浮游动物按照《淡水浮游生物调查技术规范》(SC/T 9402—2010)进行采集、鉴定和计数。底栖动物用开口面积为625 cm²的彼得生采泥器采集底泥样品后,用60目筛网过滤获得底栖动物,置于500 mL白色乳胶瓶中加入体积分数为75%的酒精保存,镜检完成鉴定和计数^[8]。

1.4 数据分析方法

1.4.1 水质现状评价方法

以GB 3838—2002为标准,根据样点应实现的水域功能类别,选取相应标准类别,进行单因子评价。

1.4.2 生物指数计算

物种优势度指数(Y)计算公式为:

$$Y = f_i \times \frac{n_i}{N} \quad (1)$$

式中: f_i 为第*i*个物种在各样点中的检出率; n_i 为样点中第*i*个物种的个体数; N 为样点中所有物种的总个体数。

当物种的 $Y \geq 0.02$ 时为优势种^[9-10]。

Shannon-Wiener多样性指数(H)计算公式为:

$$H = - \sum \frac{n_i}{N} \log_2 \frac{n_i}{N} \quad (2)$$

Pielou均匀度指数(J)计算公式为:

$$J = \frac{H}{\log_2 S} \quad (3)$$

式中: S 为样点的总物种数。

浮游植物通常可以从多样性和均匀度两个维度评价水体污染状况^[11]。 $H \geq 4.5$,清洁; $3.0 \leq H < 4.5$,轻污染; $2.0 \leq H < 3.0$, β -中污染; $1.0 \leq H < 2.0$, α -中污染; $H < 1.0$,重污染。 $J \geq 0.8$,清洁; $0.5 \leq J < 0.8$,轻污染; $0.3 \leq J < 0.5$, β -中污染; $0.1 \leq J < 0.3$, α -中污染; $J < 0.1$,重污染。

底栖动物一般只用Shannon-Wiener多样性指数评价水体污染状况^[12]。 $H = 0$,严重污染; $0 < H \leq 1$,重污染; $1 < H \leq 2$,中污染; $2 < H \leq 3$,轻污染; $H > 3$,清洁。

浮游动物由于物种数太少,故未计算Shannon-Wiener多样性指数和Pielou均匀度指数。

2 结果与分析

2.1 水质现状

大伙房水库及入库支流的水质指标监测结果见表1。根据大伙房饮用水水源保护区的划分,H-1和H-2应达到GB 3838—2002的Ⅲ类水标准,其余样点应达到GB 3838—2002的Ⅱ类水标准。所有水样的DO、氨氮、高锰酸盐指数和BOD₅均达到了目标标准;大伙房水库中的水样TN、COD和TP基本都未达到目标标准;入库支流的TN也均未达到目标标准,TP也有1个水样(SZ-1)未达到目标标准。因此,总体而言,大伙房水库及入库支流的首要超标项目为TN,其次为TP和COD。调研发现的原因有:(1)大伙房水库及入库支流周边的农村对畜禽粪便、垃圾和生活污水等无收集措施;(2)农药、化肥和秸秆焚烧后的残渣也无恰当的处理措施。而入库支流水质总体优于大伙房水库水质,可能是因为采样处于枯水期,水库主要功能为蓄水,所有入库支流携带的污染物都汇入到了水库中。

2.2 浮游植物

2.2.1 浮游植物组成和数量

大伙房水库及入库支流共检出浮游植物68种,

表 1 大伙房水库及入库支流水质指标监测结果

Table 1 Monitoring results of water quality indexes of Dahufang Reservoir and its tributaries mg/L

样点	DO	TP	TN	氨氮	BOD ₅	COD	高锰酸盐指数
H-1	11.79	0.03	7.20	0.143	0.8	12	2.67
H-2	10.98	0.02	3.24	0.079	1.4	11	1.98
H-3	12.00	0.02	3.49	0.067	0.6	9	1.94
H-4	11.27	0.02	5.47	0.073	0.6	10	2.53
D-1	10.10	0.04	1.67	0.100	1.3	24	2.93
D-2	9.31	0.03	1.94	0.164	1.6	33	3.56
D-3	9.23	0.03	1.89	0.131	1.3	18	3.17
D-4	9.98	0.05	1.82	0.176	2.2	23	3.25
D-5	10.40	0.03	2.01	0.152	1.4	20	3.41
D-6	9.51	0.03	2.07	0.125	1.2	24	3.33
D-7	9.40	0.02	1.93	0.179	1.2	14	3.72
S-1	9.73	0.02	3.22	0.028	1.0	10	1.20
SZ-1	13.80	0.03	4.14	0.042	0.7	8	1.58

其中硅藻门有 37 种,绿藻门有 21 种,蓝藻门有 5 种,隐藻门也有 5 种。各样点浮游植物组成和藻细胞密度分布见图 2。大伙房水库样点总藻细胞密度为 $1.94 \times 10^6 \sim 1.26 \times 10^7$ 个/L,平均为 5.44×10^6 个/L,其中位于出库口的 D-7 藻细胞密度最高;不同样点的浮游植物组成也有差异,D-1、D-2、D-7 主要由硅藻门藻细胞组成,而其他样点主要由种类不多的隐藻门藻细胞组成。入库支流样点总藻细胞密度为 $2.06 \times 10^6 \sim 8.47 \times 10^6$ 个/L,平均为 4.30×10^6 个/L,其中位于浑河上游的 H-2 藻细胞密度最高;各样点的浮游植物组成均以硅藻门藻细胞为主。

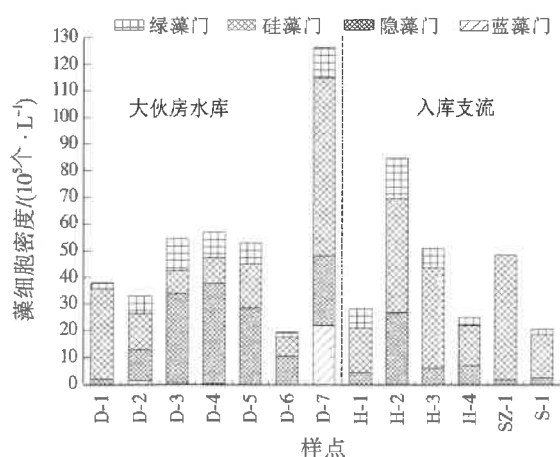


图 2 各样点浮游植物组成和藻细胞密度分布

Fig.2 Distribution of phytoplankton composition and cell density of each sampling point

2.2.2 浮游植物优势种

大伙房水库及入库支流的浮游植物优势种有 9 种(见表 2),其中隐藻门有尖尾蓝隐藻、嗜蚀隐藻、卵形隐藻和吻状隐藻 4 种,硅藻门有广缘小环藻、针杆藻、喙头舟形藻和偏肿桥弯藻 4 种,绿藻门有衣藻 1 种,嗜蚀隐藻是大伙房水库的最主要优势种,针杆

藻是入库支流的最主要优势种。

表 2 大伙房水库及入库支流浮游植物优势种

Table 2 Dominant species of phytoplankton in Dahufang Reservoir and its tributaries

门	优势种	优势度
隐藻	尖尾蓝隐藻(<i>Chroomonas acuta</i>)	0.077
	嗜蚀隐藻(<i>Cryptomonas erosa</i>)	0.079
	卵形隐藻(<i>Cryptomonas ovata</i>)	0.076
	吻状隐藻(<i>Cryptomonas rostrata</i>)	0.044
硅藻	广缘小环藻(<i>Cyclotella bodanica</i>)	0.108
	针杆藻(<i>Synedra</i> sp.)	0.139
	喙头舟形藻(<i>Navicula rhynchocephala</i>)	0.104
	偏肿桥弯藻(<i>Cymbella naviculiformis</i>)	0.041
绿藻	衣藻(<i>Chlamydomonas</i> sp.)	0.068

2.2.3 多样性和均匀度

大伙房水库及入库支流的浮游植物 Shannon-Wiener 多样性指数和 Pielou 均匀度指数见图 3。其中 Shannon-Wiener 多样性指数为 2.92~3.73,平均为 3.36,仅样点 D-3 和 SZ-1 的 Shannon-Wiener 多样性指数略小于 3,说明浮游植物多样性较好;Pielou 均匀度指数都大于 0.5,说明不同种类的浮游

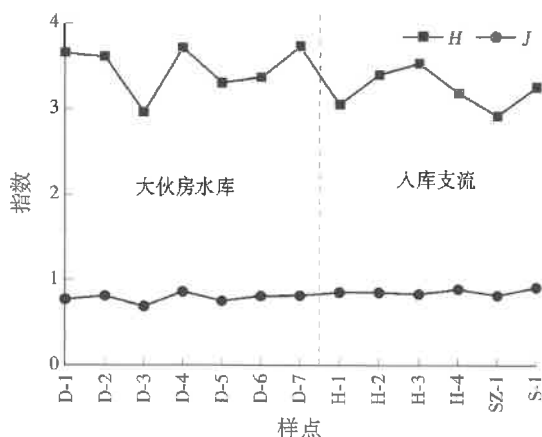


图 3 各样点浮游植物多样性和均匀度

Fig.3 Diversity and homogeneity of phytoplankton of each sampling point

植物在各样点中的分布比较均匀。综合 Shannon-Wiener 多样性指数和 Pielou 均匀度指数来评价,大伙房水库及入库支流水体总体处于轻污染状态。

2.3 浮游动物

2.3.1 浮游动物组成和数量

大伙房水库及入库支流共检出浮游动物 13 种,其中轮虫类有 8 种,桡足类有 3 种,枝角类有 2 种,其中大伙房水库中检出 11 种,入库支流中检出 4 种,入库支流中的浮游动物种类明显少于大伙房水库。各样点浮游动物组成和个体密度分布见图 4。大伙房水库样点的浮游动物总个体密度为 1.20~9.60 个/L,平均为 4.46 个/L,其中 D-2 的浮游动物个体密度最高,D-1 最低;不同样点的浮游动物组成差异大,D-1 中检出的全部都是轮虫类,而 D-2 中 3 类浮游动物都有检出,以枝角类个体密度最大,占比为 50%,其次才是轮虫类,而 D-3~D-7 中检出的都是桡足类个体密度最大。入库支流样点的浮游动物总个体密度为 0~2.40 个/L,平均为 1.20 个/L,浑河以轮虫类为主,苏子河和社河以桡足类为主。

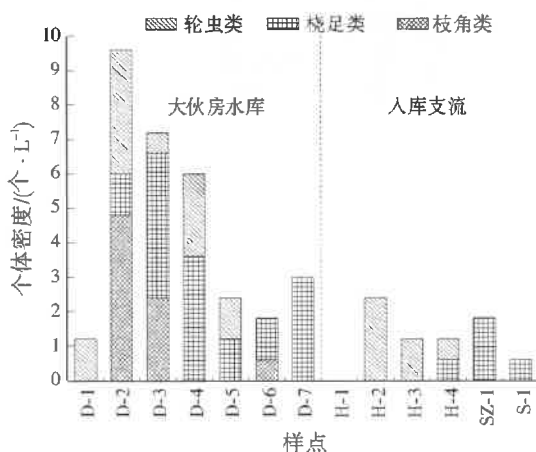


图 4 各样点浮游动物组成和个体密度分布

Fig.4 Distribution of zooplankton composition and individual density of each sampling point

2.3.2 浮游动物优势种

大伙房水库及入库支流的浮游动物优势种有 5 种(见表 3),其中轮虫类有长三支轮虫、无柄轮虫、梳状疣毛轮虫 3 种,枝角类有盘肠溞 1 种,桡足类有

表 3 大伙房水库及入库支流浮游动物优势种

Table 3 Dominant species of zooplankton in Dahufang Reservoir and its tributaries

类	优势种	优势度
轮虫	长三支轮虫(<i>Filinia longisela</i>)	0.028
	无柄轮虫(<i>Ascomopha</i> sp.)	0.022
	梳状疣毛轮虫(<i>Synchacta pectinata</i>)	0.041
枝角	盘肠溞(<i>Chydorus</i> sp.)	0.099
桡足	广布中剑水蚤(<i>Mesocyclops leuckarti</i>)	0.033

广布中剑水蚤 1 种。此外,桡足类的无节幼体虽未达到优势种,但也有较多分布。

2.4 底栖动物

2.4.1 底栖动物组成和数量

大伙房水库及入库支流共检出底栖动物 829 个,隶属于 3 门 6 纲 32 科 36 种。各样点底栖动物组成和个体密度分布见图 5。大伙房水库及入库支流中底栖动物个体密度平均为 657.94 个/m²,其中昆虫纲最高。其中,大伙房水库中底栖动物个体密度为 100.00~1 855.59 个/m²,平均为 746.03 个/m²;入库支流中底栖动物个体密度是 344.44~1 788.89 个/m²,平均为 664.81 个/m²。

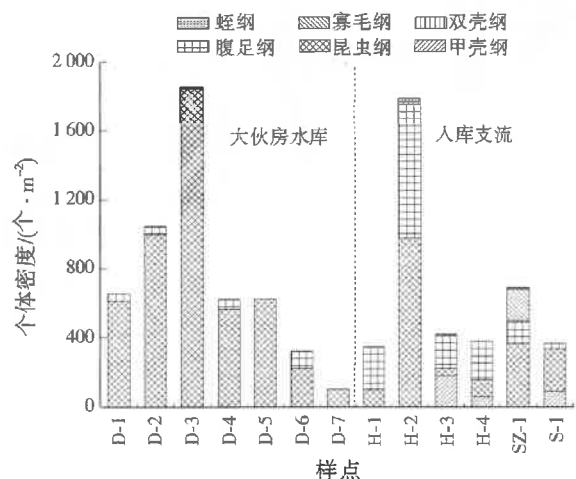


图 5 各样点底栖动物组成和个体密度分布

Fig.5 Distribution of benthic animal composition and individual density of each sampling point

2.4.2 底栖动物优势种

由于大伙房水库和入库支流中的底栖动物优势种差别较大,因此分开讨论,而且底栖动物鉴定难度较大,所以对其鉴定的分类水平也不尽相同。由表 4 可见,大伙房水库中的优势种分别是卵形萝卜螺、直突摇蚊亚科、梨形环棱螺、摇蚊亚科、豆螺属和长足摇蚊亚科;入库支流中的优势种分别是摇蚊亚科、划蝽科、长足摇蚊亚科和直突摇蚊亚科。从优势种的耐污性来看,大伙房水库及入库支流的优势种

表 4 大伙房水库及入库支流底栖动物优势种

Table 4 Dominant species of benthic animal in Dahufang Reservoir and its tributaries

种类	优势度	
	大伙房水库	入库支流
摇蚊亚科(<i>Chironominae</i>)	0.031	0.671
直突摇蚊亚科(<i>Orthocladiinae</i>)	0.173	0.020
长足摇蚊亚科(<i>Tanypodinae</i>)	0.022	0.053
划蝽科(<i>Corixidae</i>)		0.081
梨形环棱螺(<i>Bellamya purificata</i>)	0.032	
豆螺属(<i>Bithynia</i> sp.)	0.030	
卵形萝卜螺(<i>Radix ovata</i>)	0.251	

皆为中等耐污种。

2.4.3 多样性

由图 6 可见,大伙房水库及入库支流的底栖动物 Shannon-Wiener 多样性指数为 0~3.26,平均为 1.87,最低的样点为 D-7,仅采集到昆虫纲的摇蚊类,可能是因为 D-7 水深且底质单一,从而多样性较差;最高的样点为 SZ-1,可能是因为 SZ-1 受人为干扰较少,底质生境较好,分布有蜻蜓目、蜉蝣目、鞘翅目的多种底栖动物。从底栖动物的 Shannon-Wiener 多样性指数评价水体污染情况,大伙房水库及入库支流整体呈轻污染至中污染状态。从底栖动物评价的水体污染状况略比从浮游植物评价的水体状况差,说明污染物发生了一定的沉积。

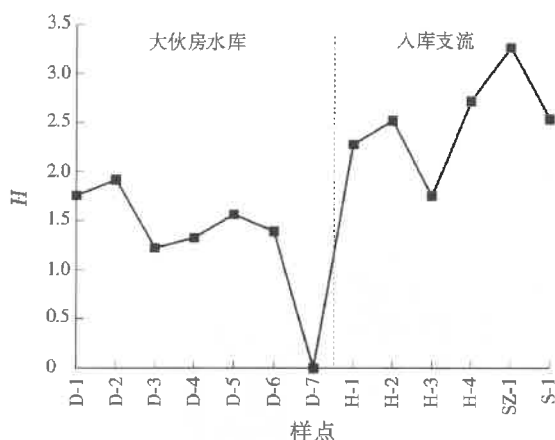


图 6 各样点底栖动物多样性

Fig.6 Diversity of benthic animal of each sampling point

3 讨论

大伙房水库中以隐藻门为最主要优势种,而一般富营养化湖泊以绿藻门、蓝藻门为主要优势种^[13],说明大伙房水库的富营养化水平不高,出库口浮游植物藻细胞密度高主要是因为大坝拦截的缘故^[14]。入库支流以硅藻门为主,是因为硅藻门适应水流速度较快的河流水环境^[15]。图 3 的 J 与 H 变化趋势和反映的水体污染状况一致性说明 J 和 H 具有相关性。

大伙房水库及其入库支流中浮游动物种类较少,大伙房水库中桡足类的数量占优势,而入库支流中轮虫类占优势。一般来说,浮游动物群落结构会随着水体营养水平的提高而呈现由小型浮游动物向大型浮游动物转变的趋势^[16],因此可以判断,大伙房水库的富营养化水平高于入库支流。

大伙房水库及其入库支流中底栖动物分布差异较大。大伙房水库中 D-3 和入库支流中 H-2 底栖动物个体密度较高,可能与其毗邻的村庄及农场中人

类活动生活污水排放有关。苏子河人为干扰较少,底质生境维持较好,有多类底栖动物分布。

水生生物群落结构特征受多种水质指标的影响。通过典范对应排序分析^[17]发现,影响大伙房水库及其入库支流中水生生物群落结构变化的主要水质指标是 DO、高锰酸盐指数和氨氮。水体中水生生物与 DO 关系密切,因为浮游植物进行光合作用释放氧气,会使水体 DO 升高,水生生物的生命活动和死亡降解又都会消耗 DO^[18]。氨氮和高锰酸盐指数分别代表了水体中的营养盐水平和有机物污染水平^[19],说明大伙房水库还是有必要控制外源营养盐和有机物输入,以减缓其富营养化进程。

4 结论

综合大伙房水库及入库支流水质现状和浮游植物、浮游动物、底栖动物的群落结构特征可以得出,大伙房水库及入库支流水体水质总体处于轻污染至中污染状态,主要超标项目为 TN、TP 和 COD,污染物已发生了一定的沉积,大伙房水库的富营养化水平高于入库支流,影响水生生物群落结构变化的主要水质指标是氨氮、高锰酸盐指数和 DO。为避免大伙房水库水体过快富营养化,有必要控制外源营养盐和有机物的输入。

参考文献:

- [1] 刘麟菲,徐宗学,殷旭旺,等.济南市不同区域水生生物与水环境因子的响应关系[J].湖泊科学,2019,31(4):998-1011.
- [2] MALIK N,BISWAS A K,RAJU C B.Plankton as an indicator of heavy metal pollution in a freshwater reservoir of Madhya Pradesh[J].Bulletin of Environmental Contamination & Toxicology,2013,90(6):725-729.
- [3] 曹文钟,孙玉凤,杨双,等.大庆库里泡浮游植物群落结构及多样性研究[J].生态科学,2019,38(2):206-211.
- [4] 王胜男,陈卫.浅析淡水浮游动物的种类组成及其生态功能作用[J].生物学通报,2012,47(10):10-13.
- [5] 姚凯胜,和雅静,赵水晶,等.流溪河大型底栖动物群落结构及其影响因素[J].中国环境监测,2020,36(3):83-93.
- [6] 刘韶华.大伙房水库水体富营养化及其影响因素分析[J].水科学与工程技术,2018(6):14-19.
- [7] 杨柳,陈绵润,林秋奇,等.一座热带高产渔业水库枯水期轮虫的群落组成与动态分析[J].湖泊科学,2008,20(6):780-789.
- [8] 刘月英,张文珍,王跃先,等.中国经济动物志:淡水软体动物[M].北京:科学出版社,1979.
- [9] 庞雨佳,赵文,魏杰,等.桓仁水库和碧流河水库浮游生物群落结构及水环境特征的比较研究[J].大连海洋大学学报,2020,35(3):407-416.
- [10] 薛庆举,汤祥明,龚志军,等.典型城市湖泊五里湖底栖动物群落演变特征及其生态修复应用建议[J].湖泊科学,2020,32(3):762-771.

(下转第 857 页)