

北京牛口峪水库水生生物多样性及环境评价

张 舸¹, 姜 松², 吴嘉俊¹, 赵 文^{1*}, 魏 杰¹, 李 博³, 尹东鹏¹

¹大连海洋大学水产与生命学院/辽宁省水生生物学重点实验室, 辽宁 大连

²北京鲟龙种业有限公司, 北京

³北京市水生野生动植物救护中心, 北京

收稿日期: 2024年3月22日; 录用日期: 2024年4月7日; 发布日期: 2024年4月28日

摘 要

在2017年和2018年夏秋季, 以及2021年夏季, 对北京牛口峪水库开展了5次水质状况和浮游生物群落采样调查, 旨在为保护水库水生生物多样性和控制水域污染提供科学依据。结果表明, 水库氮磷处于较高水平, 总氮除2018年夏季为III类标准, 其余皆为V类标准及以上; 总磷平均为III类标准。加权综合营养指数显示水质总体为轻度富营养状态, 污染程度处于轻度污染。浮游植物平均密度为 5.35×10^6 ind./L, 平均生物量为7.85 mg/L, 平均多样性指数为3.60; 平均均匀度指数为0.53, 以硅藻门和绿藻门为优势, 存在潜在的水华暴发风险。浮游动物平均密度为9430 ind./L, 生物量平均值为2.61 mg/L, 以原生动物和轮虫为优势, 平均多样性指数为3.42, 平均均匀度指数为0.64, 存在小型化的趋势, 浮游生物的多样性指数和均匀度指数有所降低。建议加强水质监测和管理, 控制氮磷输入, 保护生物的多样性和稳定性, 实现水资源的可持续利用。

关键词

牛口峪水库, 水环境评价, 浮游植物, 浮游动物, 生物多样性

Aquatic Biodiversity and Environmental Assessment in Niukouyu Reservoir, Beijing

Ge Zhang¹, Song Jiang², Jiajun Wu¹, Wen Zhao^{1*}, Jie Wei¹, Bo Li³, Dongpeng Yin¹

¹Key Laboratory of Hydrobiology in Liaoning Province, College of Fisheries and Life Science, Dalian Ocean University, Dalian Liaoning

²Beijing Sturgeon Seed Industry Co., Ltd., Beijing

³Beijing Aquatic Wildlife Rescue Center, Beijing

Received: Mar. 22nd, 2024; accepted: Apr. 7th, 2024; published: Apr. 28th, 2024

作者简介: 赵文, 男, 生于1963年10月, 汉族, 教授、博士生导师。现任辽宁省特聘教授, 兼任中国海洋大学水产养殖博士生导师, 中国科学院海洋研究所海洋生态学博士生导师。

*通讯作者 Email: zhaowen_1963@163.com

文章引用: 张舸, 姜松, 吴嘉俊, 赵文, 魏杰, 李博, 尹东鹏. 北京牛口峪水库水生生物多样性及环境评价[J]. 水资源研究, 2024, 13(2): 135-144. DOI: 10.12677/jwrr.2024.132016

Abstract

Five sampling investigations were conducted on the water quality and plankton community characteristics in Beijing Niukouyu Reservoir at the summer and autumn of 2017 and 2018, as well as in the summer of 2021, aiming to provide scientific basis for the protection of aquatic biodiversity and the control of water pollution. The results showed that the nitrogen and phosphorus levels were at a high level. The total nitrogen was classified as Class V or above except in the summer of 2018, and the average total phosphorus was Class III. The weighted comprehensive nutrition index showed that the water quality was generally mildly eutrophic, and the pollution degree was mild. The average density of phytoplankton was 5.35×10^6 ind./L, the average biomass was 7.85 mg/L, and the average diversity index was 3.60. The average evenness index was 0.53, with Diatoms and Chlorophyta as the dominant species, and there was a potential risk of algal blooms. The average density of zooplankton was 9430 ind./L, the average biomass was 2.61 mg/L, with protozoa and rotifers as the dominant species, and the average diversity index was 3.42. The average evenness index was 0.64, with a smaller trend, and the diversity index and evenness index of zooplankton decreased. It is suggested to strengthen water quality monitoring and management, control nitrogen and phosphorus input, protect biodiversity and stability, and achieve sustainable use of water resources.

Keywords

Niukouyu Reservoir, Aquatic Assessment, Phytoplankton, Zooplankton, Biodiversity

Copyright © 2024 by author(s) and Wuhan University.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



1. 引言

牛口峪水库位于北京市房山区，原为燕山石化储存和处理炼化装置工业用水的水库，燕山石化公司对园内约 8 万平方米已停用的水库进行了改造修复，种植了芦苇(*Phragmites australis*)、香蒲(*Typha angustifolia*)、穗状狐尾藻(*Myriophyllum spicatum*)、篦齿眼子菜(*Potamogeton pectinatus*)等具有高净化能力和高耐受力的水生植物，来实现深度净化工业外排废水。此外，该水库还交替错落地建设了不同密度的湿草甸和植有漂浮水生植物的自由水面，形成了十分理想的鸟类栖息地[1]。2019 年 7 月，牛口峪水库建成了“保育区”，面积达 10 万 m²，用以保护栖息在水库内的各类野生动物。水体的理化因子和浮游生物群落是水生态系统的重要组成部分，共同在能量流动、物质循环和信息联系中发挥作用，可以反映水体富营养化状态和生物多样性状况[2] [3] [4] [5]。

该水库是北京市实现了污水达标排放领域内生态环境恢复与保护的有机结合的范例[1]，但截止目前，关于牛口峪水库的浮游生物的物种多样性及其环境评价报道较少，因此，对其开展水体理化因子和浮游生物群落研究，对于北京市其他地区污水处理和生态修复具有重要的指导意义。

2. 材料和方法

2.1. 采样时间与样站的设置

根据 2017~2021 年北京市水生野生动植物救护中心对牛口峪水库实施的监测规划，本团队分别于 2017 年 6 月(夏季)、9 月(秋季)，2018 年 6 月(夏季)、9 月(秋季)，2021 年 5 月(夏季)对牛口峪水库进行了水体理化因子和浮游生物采样调查，水体理化因子采集参照《养殖水环境化学实验》[6]进行，浮游生物采集方法参照《水生

物学》[7]进行。2017, 2018年采样站点为B, 2021年采样站点为A、B和C, 详见图1。

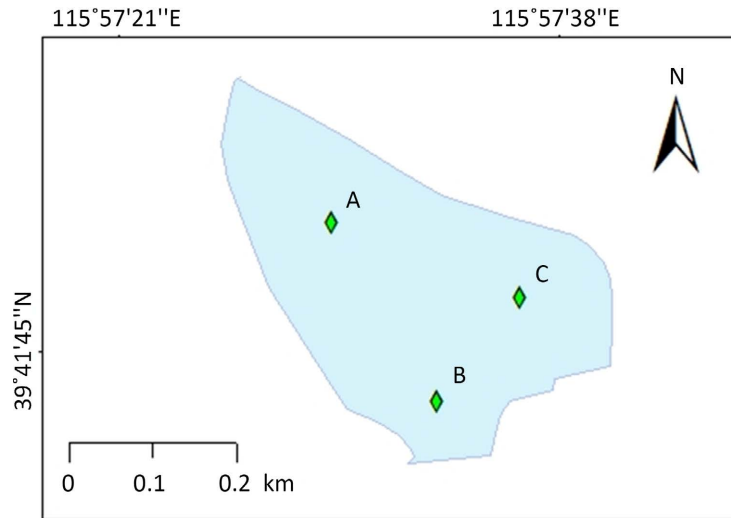


图1. 牛口峪水库采样站设置

2.2. 测定方法

2.2.1. 理化参数测定

对牛口峪水库水体物理特征(温度、透明度)、化学特征[pH、溶氧(DO)、叶绿素 a (Chl-a)、化学需氧量(COD_{Mn})、总氮(TN)、总磷(TP)、氨氮(NH₄⁺-N)、亚硝酸氮(NO₂-N)、硝酸氮(NO₃-N)、活性磷(ADP, PO₄-P)、碱度(ALK)、硬度(TH)、氯离子(Cl⁻)、硫酸根离子(SO₄²⁻)、钾离子(K⁺)、钠离子(Na⁺)]等进行了测定, 测定方法按照《水和废水监测分析方法》[8]和《养殖水环境化学实验》[6]进行。

2.2.2. 浮游植物样品采集

每个样站取水 5 L (用水生-80 型有机玻璃采水器的固定容积), 将采集后的水放入水桶中混合均匀。另取 1 L 塑料瓶, 从混合水样中取 1 L 水作为浮游植物样品, 立即加入 15 mL 鲁哥氏液固定并混合均匀。样品在实验室内放置 48 h 后用虹吸管进行浓缩, 装入小塑料瓶中定容至 50 mL 后进行定性、定量分析。分析前需充分摇匀样品, 后立即从中吸取 0.1 mL 混合液小心置于 0.1 mL 浮游植物计数框中, 在 15 × 40 倍显微镜(麦克奥迪 BA210)下进行观察计数。每瓶样品计数两片, 取平均值。浮游植物参照《中国淡水藻类——系统、分类及生态》[9]、《中国淡水藻志》[10]等文献进行定性分析, 定量分析参照《水生生物学》[7]提供的方法执行。

2.2.3. 浮游动物样品采集

小型浮游动物(原生动物和轮虫)的定量采用浮游植物定量的浓缩水样浓缩至 50 ml, 测定时充分摇匀, 用定量吸管准确吸取 1 ml 置于浮游动物计数框内, 并都在麦克奥迪 BA210 型显微镜下进行计数。大型浮游动物(枝角类、桡足类等)采水 50 L, 经过 25#浮游生物网(300 目)过滤, 浓缩液用 5%甲醛固定, 测定时吸取 1 ml 在显微镜下计数, 然后根据镜检的种类和个数来计算密度和生物量。浮游动物的种类鉴定参照《水生生物学》《中国动物志 节肢动物门 甲壳纲 淡水枝角类》《中国动物志 节肢动物门 甲壳纲 淡水桡足类》《中国淡水轮虫志》[7][11][12]著作进行鉴定, 浮游动物的密度、生物量按照《湖泊富营养化调查规范》[13]进行计算和数据处理。浮游动物生物量计算参照《水生生物学》[7]进行。

2.2.4. 浮游生物数据处理

实验数据采用 Excel 软件进行处理。浮游生物多样性指数采用 Shannon-Wiener 指数和均匀度指数, 优势种

利用优势度进行确定。加权综合营养状态指数(*TLI*)参照《养殖水域生态学》[14]进行,评价标准为: $70 < TLI \leq 100$ 为极富营养型, 重度污染; $60 < TLI \leq 70$ 为(中度)富营养型, 中度污染; $50 < TLI \leq 60$ 为(轻度)富营养型, 轻度污染; $0 < TLI \leq 30$ 为中营养型, 水质良好; $0 < TLI \leq 30$ 为贫营养型, 水质为优。

3. 结果与分析

3.1. 理化指标

牛口峪水库理化指标测定和富营养化状态如表 1 和表 2 所示。该水库水型总体为氯化物类钠组 I 型水(CINa I), 水型有所变化, 2017 年 6 月和 2021 年 5 月水型为 CNa I, 2017 年 9 月水型 CMg I, 2018 年 6 月和 9 月水型为 CINa I。牛口峪水库为碱性水体, 透明度为 0.4~1.5 m, 水温为 19.7℃~29.2℃。参照《地表水环境质量标准》(GB3823-2002)可知, 牛口峪水库的化学需氧量和溶氧总体均值属于国家 I 类标准, 但在 2017 年秋季溶氧为 II 类标准; 总氮除 2018 年夏季为 III 类标准, 其余皆为 V 类标准及以上; 总磷平均为 III 类标准, 2017 年夏季和秋季、2018 年夏季和秋季、2021 夏季分别为 III、I、IV、III、IV 类标准。综合 2018~2021 年五次调查, 加权综合营养状态指数(*TLI*)显示, 牛口峪水库为轻度富营养型。

表 1. 牛口峪水库水体的理化特征

指标	时间/年.月					总平均
	2017.6	2017.9	2018.6	2018.9	2021.5	
水温 WT/℃	29.2	27.4	27.5	27.3	19.7	26.2
透明度 SD/m	0.50	0.90	0.40	1.50	1.07	0.87
pH	8.29	8.43	8.56	8.50	9.15	8.59
溶解氧 DO (mg/L)	9.30	6.20	7.96	7.92	9.35	8.15
总碱度 ALK/mmol/L	6.04	2.32	3.84	5.57	2.44	4.04
总硬度 TH/°d	10.13	9.29	15.47	11.24	6.02	10.43
化学需氧量 COD _{Mn} /(mg/L)	5.33	4.00	14.00	7.07	6.93	7.47
叶绿素 a chl-a/(μg/L)	10.10	5.44	34.89	35.72	38.82	24.99
总氮 TN/(mg/L)	2.56	1.08	2.41	2.50	4.51	2.61
亚硝酸盐 NO ₂ -N/(mg/L)	0.038	0.049	0.134	0.123	0.144	0.098
硝酸盐 NO ₃ -N/(mg/L)	0.423	0.517	0.178	0.177	0.154	0.290
总磷 TP/(mg/L)	0.026	0.005	0.210	0.077	0.179	0.099
活性磷 ADP/(mg/L)	0.041	0.002	0.008	0.012	0.018	0.016
钾 K ⁺ /(mmol/L)	1.14	1.00	0.49	0.74	0.44	0.76
钠 Na ⁺ /(mmol/L)	5.05	2.17	14.97	15.77	4.25	8.44
钙 Ca ²⁺ /(mmol/L)	1.40	1.00	2.30	2.24	1.09	1.61
镁 Mg ²⁺ /(mmol/L)	2.21	2.31	3.22	1.77	0.91	2.08
硫酸盐 SO ₄ ²⁻ /(mmol/L)	1.50	0.70	2.16	1.42	0.92	1.34
氯离子 Cl ⁻ /(mmol/L)	1.21	2.17	13.33	12.27	0.90	5.98
碳酸盐 CO ₃ ²⁻ /(mmol/L)	0.00	0.00	0.00	0.28	0.00	0.06
碳酸氢盐 HCO ₃ ⁻ /(mmol/L)	6.04	2.32	3.84	5.43	2.44	4.01
水型	CNa I	CMg I	CINa I	CINa I	CNa I	CINa I

表 2. 牛口峪水库理化特征及健康评价

指标	时间/年.月					总平均
	2017.6	2017.9	2018.6	2018.9	2021.5	
pH	8.29 (正常)	8.43 (正常)	8.56 (正常)	8.5 (正常)	9.15 (正常)	8.59 (正常)
COD/(mg/L)	5.33 (I类)	4 (I类)	14 (I类)	7.07 (I类)	6.93 (I类)	7.47 (I类)
总氮 TN/(mg/L)	2.56 (V类)	1.08 (III类)	2.41 (V类)	2.5 (V类)	4.51 (V类)	2.61 (V类)
总磷 TP/(mg/L)	0.026 (III类)	0.005 (I类)	0.21 (V类)	0.077 (III)	0.179 (IV类)	0.099 (III类)
DO (mg/L)	9.3 (I类)	6.2 (II类)	7.96 (I类)	7.92 (I类)	9.35 (I类)	8.15 (I类)
TLI	48.02	34.58	66.07	57.19	62.81	58.03
	中营养	贫营养	中度富营养	轻度富营养	中度富营养	轻度富营养

3.2. 浮游植物

3.2.1. 浮游植物种类组成

调查期间牛口峪水库浮游植物共发现 112 种, 其中, 硅藻最多为 45 种, 占总种数的 40.18%; 绿藻次之为 33 种, 占比 29.46%; 蓝藻门为 22 种, 占比 19.64%; 甲藻门 4 种, 占比 3.57%, 金藻门和隐藻门各 3 种, 占比分别为 2.68%, 黄藻门和裸藻门各 1 种, 占比分别为 0.89%。发现高耐盐种类: 钝顶节旋藻(*Arthrospira platensis*)、翼茧形藻(*Amphiprora alata*)、波罗的海布纹藻(*Gyrosigma balticum*)、洛伦菱形藻(*Nitzschia lorenziana*)、牟氏角毛藻(*Chaetoceros muelleri*)、小三毛金藻(*Prymnesium parvum*)。

3.2.2. 浮游植物密度

牛口峪水库浮游植物平均密度为 5.35×10^6 ind./L, 其中硅藻最多, 占比为 37.78%; 绿藻次之, 为 31.08%; 第三为蓝藻, 占比 22.62%; 黄藻占比 5.79%; 隐藻占比 0.95%; 金藻占比 0.93%; 甲藻占比 0.48%; 裸藻占比 0.37%。从图 2 可见, 浮游植物密度显示出季节和年度变化, 2017 年夏季蓝藻密度最多, 其余时间硅藻密度占优, 同年秋季绿藻密度增大。

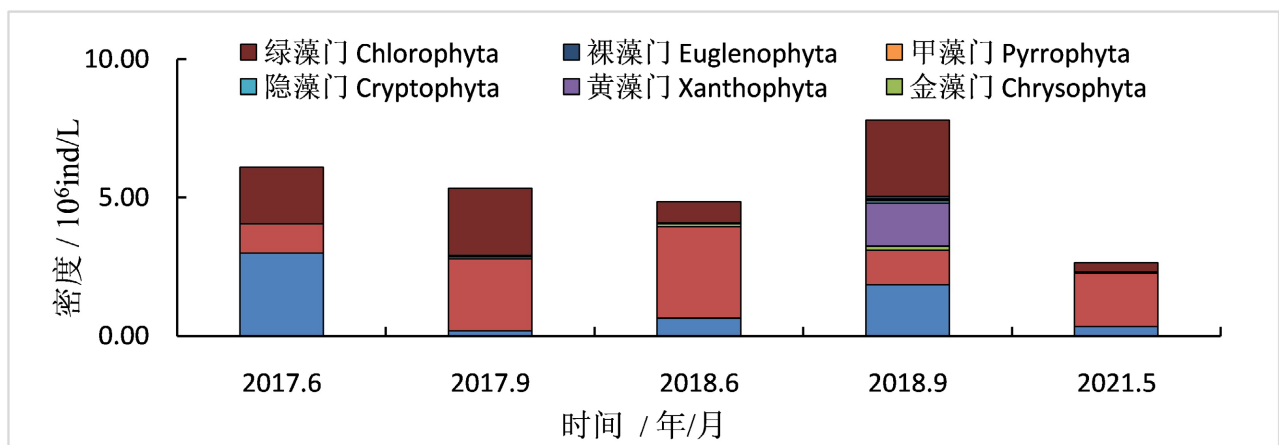


图 2. 牛口峪水库浮游植物密度及其组成的时间变化

3.2.3. 浮游植物生物量

牛口峪水库浮游植物平均生物量为 7.85 mg/L, 其中硅藻最多, 占比 70.85%; 绿藻次之, 占比 13.57%; 金藻第三, 占比 4.74%; 黄藻占比 3.95%; 蓝藻占比 3.35%; 甲藻占比 1.55%; 隐藻占比 1.23%; 裸藻占比 0.76%。从图 3 可见, 浮游植物生物量显示出季节和年度变化, 浮游植物生物量秋季大于夏季。组成上除 2018 年秋季绿

藻生物量较大外，均以硅藻占优。显示该水库浮游植物为硅藻-绿藻型。

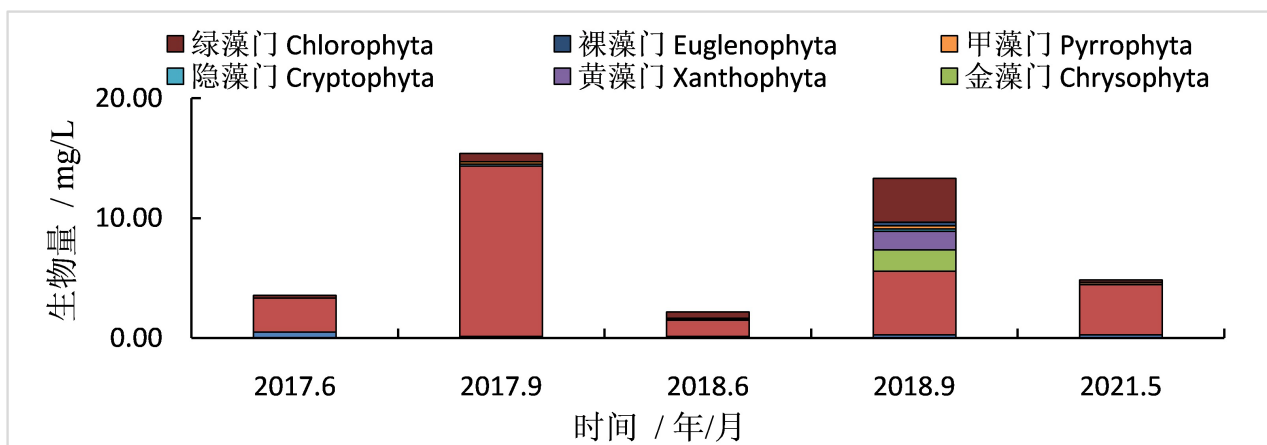


图 3. 牛口峪水库浮游植物生物量及其组成的时间变化

3.2.4. 浮游植物多样性指数与均匀度指数的变化

牛口峪水库浮游植物平均多样性指数为 3.60；平均均匀度指数为 0.53，整体来看，牛口峪水库浮游植物多样性介于较好与非常丰富之间。多样性指数和均匀度指数显示出季节和年度变化，夏季大于秋季(图 4)。

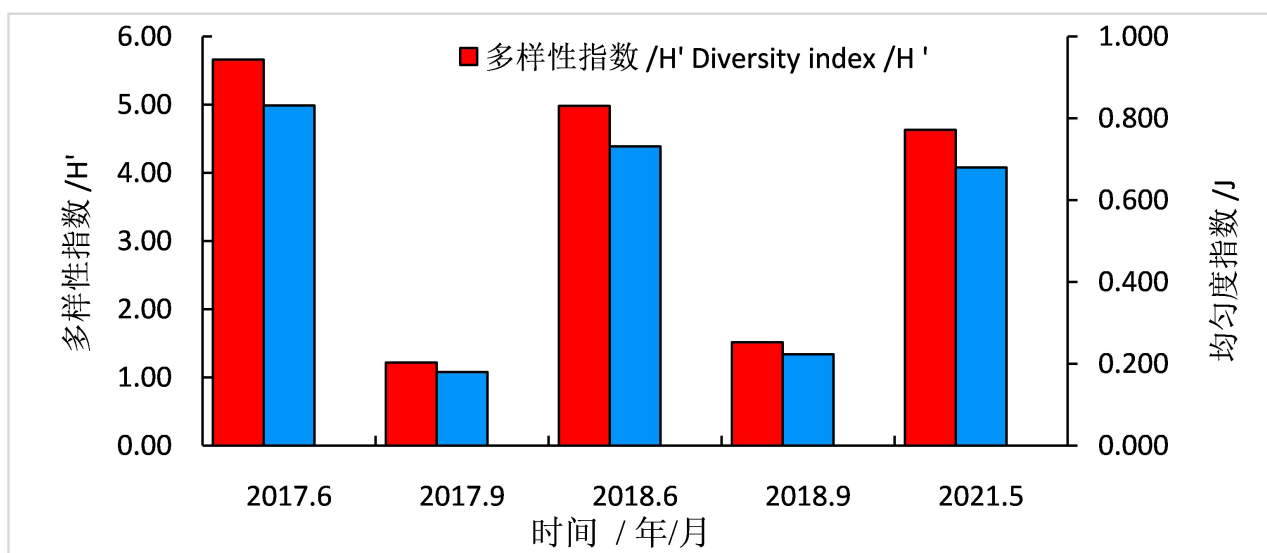


图 4. 牛口峪水库浮游植物多样性指数与均匀度指数的时间变化

3.2.5. 浮游植物优势种及优势度

牛口峪水库浮游植物优势种共有 22 种，优势种以绿藻和硅藻为主，主要优势种由尖脆杆藻(*Fragilaria acus*)、疏刺多芒藻(*Golenkinia paucispina*)、梅尼小环藻(*Cyclotella meneghiniana*)和浮球藻(*Planktosphaeria gelatinosa*)等。2021 年夏季，优势种数量最多，其余年度和季节优势种较少。

3.3. 浮游动物

3.3.1. 浮游动物组成及其分布

浮游动物共发现 111 种，其中轮虫最多为 48 种，占总种数的 43.24%；原生动物次之为 41 种，占比 36.94%；

桡足类为 10 种, 占比 9.01%, 枝角类和兼性浮游动物各 6 种, 分别占比 5.41%。发现高耐盐种类: 褶皱臂尾轮虫(*Brachionus plicatilis*)、变异臂尾轮虫(*Brachionus variabilis*)、哈瓦那臂尾轮虫(*Brachionus havannaensis*), 哈瓦那臂尾轮虫为北京首次发现, 是中国轮虫的新记录种。

3.3.2. 浮游动物密度

牛口峪水库浮游动物平均密度为 9430 ind./L, 其中原生动物最多, 占比为 55.09%; 轮虫次之, 占比 44.08%; 桡足类占比 0.4%; 枝角类占比 0.35%; 兼性浮游动物占比 0.4%。从图 5 可见, 牛口峪水库浮游动物密度有明显的季节和年度变化, 2021 年夏季密度最大, 2019 年秋季最小, 密度组成随季节变化, 原生动物和轮虫交替占优势。

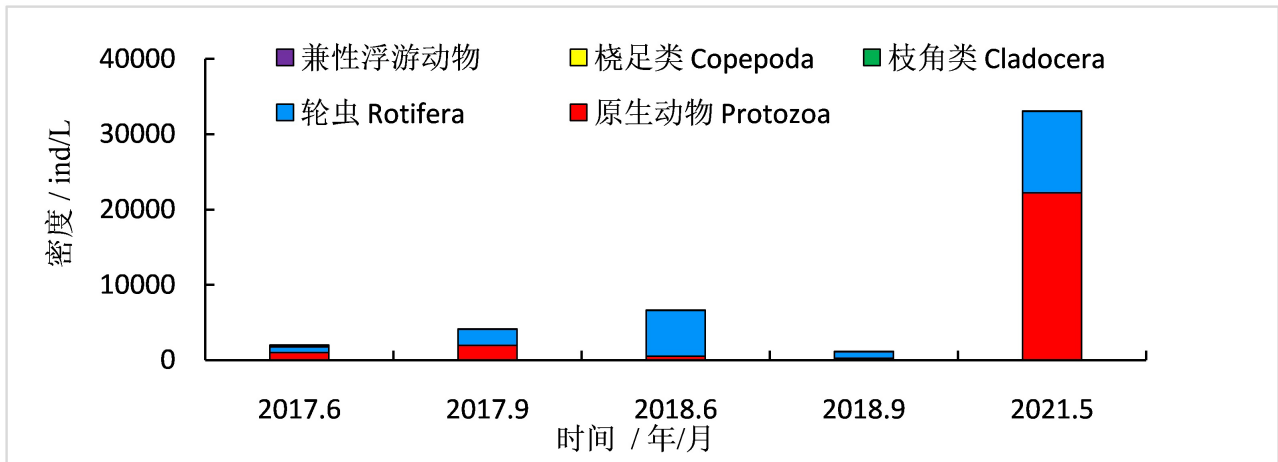


图 5. 牛口峪水库浮游动物密度及其组成的时间变化

3.3.3. 浮游动物生物量

牛口峪水库浮游动物生物量平均值为 2.61 mg/L (图 6), 其中轮虫最多, 占比为 53.44%; 原生动物次之, 占比为 28.64%; 桡足类占比为 9.42%; 枝角类占比 3.68%; 兼性浮游动物占比 4.83%。浮游动物生物量及其组成有明显的季节和年间变化, 2021 年夏季生物量最大达 4.48 mg/L, 原生动物占优; 2018 年秋季次之, 为 3.87 mg/L, 轮虫占优; 2018 年秋季最小, 为 1.01 mg/L, 枝角类占优。总体看夏季生物量高于秋季。

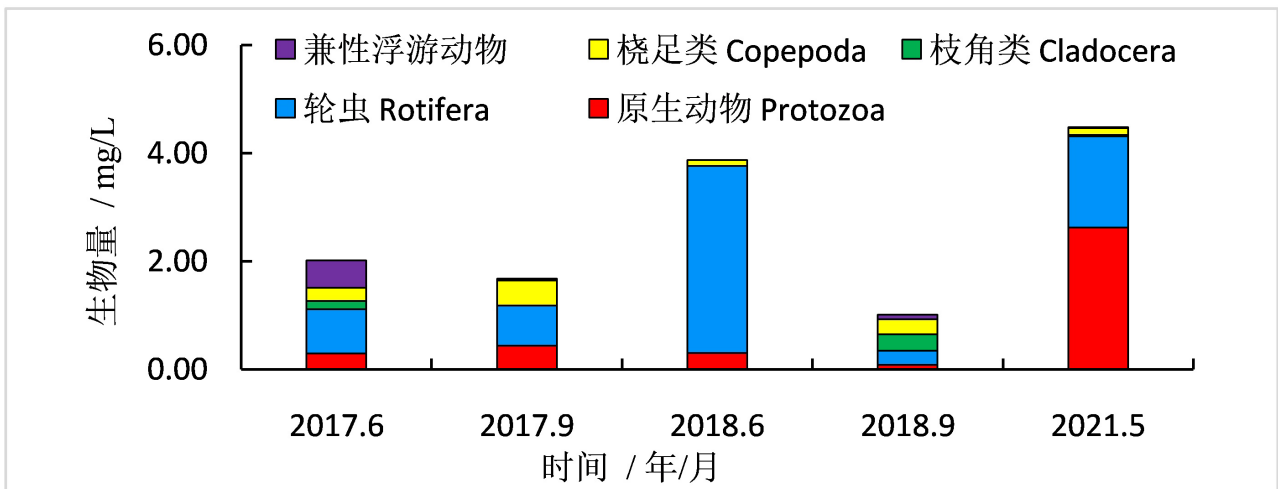


图 6. 牛口峪水库浮游动物生物量及其组成的时间变化

3.3.4. 浮游动物多样性指数与均匀度指数的水平变化

浮游动物多样性指数为 3.42，均匀度指数为 0.64，多样性指数和均匀度指数显示出季节和年度变化，2017 年夏季两种指数优于秋季，而 2018 年秋季优于夏季，2017 和 2018 年均优于 2021 年(图 7)。

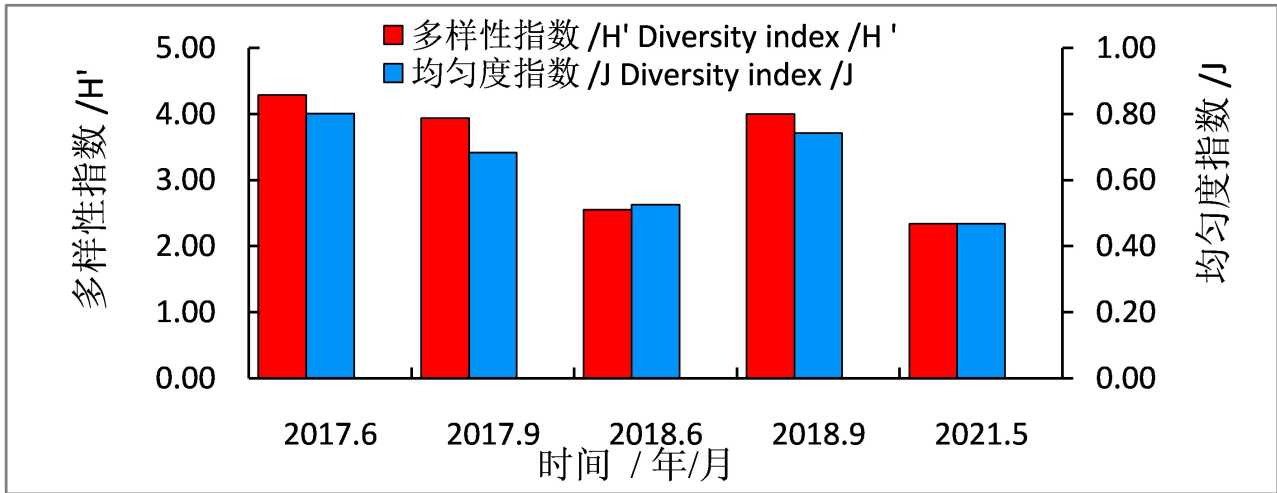


图 7. 牛口峪水库浮游动物多样性指数与均匀度指数的时间变化

3.3.5. 浮游动物优势种及优势度

牛口峪水库浮游动物优势种共有 30 种，优势种由原生动物和轮虫组成，主要的优势种为小单环带毛虫 (*Didinium balbianii nanum*)、旋回狭盗虫(*Strobilidium gyrans*)、萼花臂尾轮虫(*Brachionus calyciflorus*)、褶皱臂尾轮虫、环顶巨腕轮虫(*Hexathra fennica*)、针簇多肢轮虫(*Polyarthra trigla*)。值得注意的是，本地调查中出现高耐盐种类如褶皱臂尾轮虫。

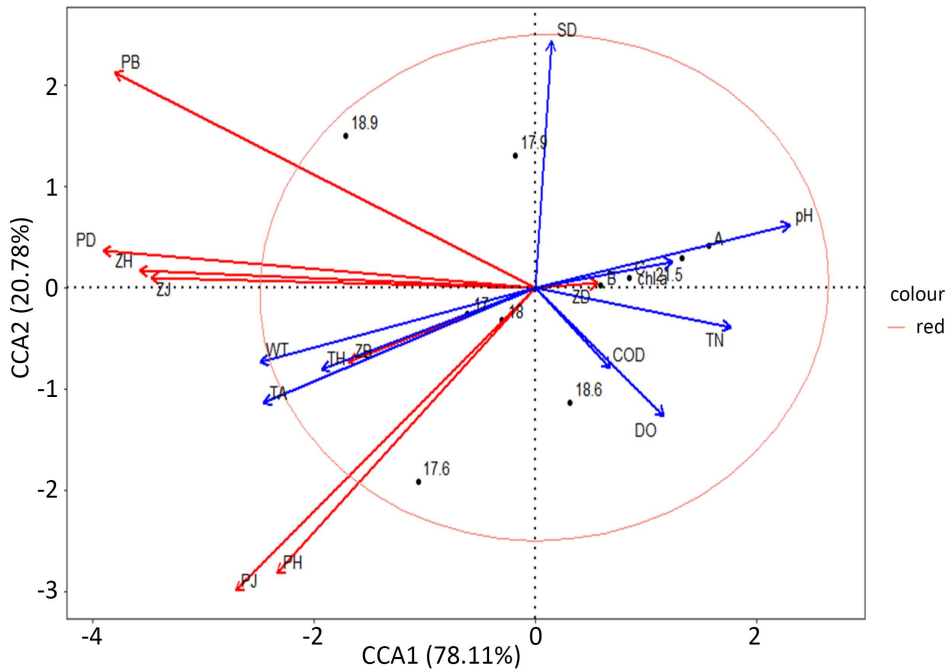


图 8. 牛口峪水库生物指标与环境因子的 CCA 分析

3.4. 牛口峪水库生物与环境关系的 CCA 分析

牛口峪水库生物指标与环境因子的典范对应分析结果如图 8 所示。可见, 浮游植物密度(PD)、生物量(PB)、多样性指数(PH)、均匀性指数(PJ)、浮游动物密度(ZD)、均匀性指数(ZJ)和多样性指数(ZH)与水温(WT)、碱度(TA,ALK)、硬度(TH)呈正相关; 与 pH、叶绿素 a (Chl-a)、总氮(TN)、溶解氧(DO)、化学需氧(COD)量呈负相关。

4. 讨论

4.1. 合理性分析

本研究选择水体理化指标和水生生物群落特征作为研究对象。水体理化指标参照《地表水环境质量标准》(GB3823-2002), 指标越大则说明水体健康状况越差; 综合五次采样的水体理化特征, *TLI* 值越大说明水体营养程度越高, 水体污染程度也越高; 因此用水体理化指标和 *TLI* 来评价水体健康是较为合理的。水生生物密度反映了水体中浮游生物群落的多少, 密度越大说明浮游生物群落在水体中越多, 水生生物群落稳定性越高; 生物量反映了水体中浮游生物的总个数或总干重, 生物量越高, 说明水体营养程度越高, 水体食物网结构越稳定; 多样性指数越大, 说明水体中的物种越丰富, 食物网结构越复杂, 水体生态系统越稳定, 水体抵御外部变化的能力越强; 均匀度指数反映了各物种个体数目分配的均匀程度, 均匀度指数越接近 1, 则各物种间的个体数越接近, 生态系统就越稳定; 因此水生生物的密度、生物量、多样性指数、均匀度指数可以反映水体的健康程度。

4.2. 牛口峪水库水质安全评价

牛口峪水库氮磷处在较高水平, 其中总氮含量偏高, 总磷升高, 总氮和总磷增加原因可能与地表径流有关[15]。水体理化因子中, pH 和碱度显示水体具有一定的盐碱化, 这可能与牛口峪水库所属的燕山石化公司所处理的水的制剂中含有一定盐度有关, 盐度升高可导致细菌、浮游生物等种类和丰度的减少, 利用水中营养物质能力减少, 可能会导致水体富营养化。*TLI* 表明牛口峪为轻度富营养状态, 污染程度总体处于轻度污染, 但不容忽视的是从 2017 到 2018 年, 再到 2021 年水质营养状态不断加深, 其中水质中的总氮总磷也可以侧面反映一定的水质变化趋势, 可能存在爆发水华的危险, 针对蓝藻水华爆发的氮磷阈值, *Gilbson* 等指出湖泊和水库中总氮、总磷浓度分别超过 0.15 和 0.01 mg/L 即有可能发生蓝藻水华, 与本次研究结果对比, 表明有爆发水华的可能[16]。

4.3. 牛口峪水库浮游生物群落变化特征

该水库浮游生物中有很多耐盐种类, 如浮游植物钝顶节旋藻、翼茧形藻、波罗的海布纹藻、洛伦菱形藻、牟氏角毛藻、小三毛金藻, 浮游动物褶皱臂尾轮虫、变异臂尾轮虫, 浮游生物耐盐种类与水中高 pH 和碱度有关, 这也进一步印证了水中含有一定盐度的猜想。本次调查的牛口峪水库浮游植物和浮游动物数量和丰度与北京市其他水库相一致[3][4][5]。

2021 年浮游生物密度和生物量与 2017 年、2018 年相比, 浮游植物和浮游动物的密度和生物量均有所下降, 浮游植物呈现密度小, 生物量大趋势, 而浮游动物则呈现密度大生物量小, 这可能与季节和地理分布差异有关。浮游植物优势种以硅藻门和绿藻门为主, 且大多数为优质藻类, 这从侧面反映牛口峪水库具有一些优良饵料基础。浮游植物的群落组成也能反映水体所处的营养状态[17], 营养化加深水体中, 绿藻门和硅藻门种类比例很大[18], 本次研究硅藻占比 45%, 绿藻占比 33%, 与上述得到的水质营养状态加深相呼应。浮游动物中原生动物和轮虫为优势种, 这从侧面说明存在着一定的小型化趋势, 小型化趋势可能是由于浮游动物面临较大的捕食压力所致, 而浮游动物的小型化将会导致浮游动物对浮游植物的控制力减弱, 同时潜在富营养化风险在增加[19]。牛口峪水库浮游动物平均多样性指数($H' = 3.42 > 3$)和均匀度指数($J = 0.64, 0.5 < J < 0.8$)结果均显示为轻污染[20], 这与水质综合营养状态为轻度富营养一致, 但仍要重视潜在的浮游植物水华可能和浮游动物小型化。

4.4. 牛口峪水库水质和水生生物多样性可持续利用对策

首先, 建议减少使用含盐量多的水处理制剂, 这样可以减少水库的盐碱化程度, 增加水生水生物种类, 提高水体中氮磷的利用效率, 减轻水体富营养化程度。其次, 应该进一步控制氮磷, 切断外界污染源, 减少污染物进入水体的量, 如周边的山体土壤中大量营养盐通过地表径流进入水体, 造成水中营养物质的增加, 容易使水体富营养化, 所以应改善周边的生态环境, 加大植树造林, 减少土壤径流对水体的污染。

5. 结论

综上所述, 牛口峪水库水质和生物多样性仍需改善, 鉴于该水库是生态环境恢复与保护的有机结合的范例, 应在控制污染源的基础上, 大力进行优水生态工程和生物监测。

基金项目

国家自然科学基金项目(42077226)和北京市农业农村局项目(2017-2021)资助。

参考文献

- [1] 周一兵, 刘建军, 鲁贺. 全力打造京西南生态文明示范区——燕山石化率先实施生态型污水净化方案建设人工湿地[J]. 中国石化, 2018(1): 64-65.
- [2] GENSEMER, R. W., GONDEK, J. C., et al. Evaluating the effects of pH, hardness, and dissolved organic carbon on the toxicity of aluminum to freshwater aquatic organisms under circumneutral conditions. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 2018, 37(1): 49-60. <https://doi.org/10.1002/etc.3920>
- [3] 王哲, 尹东鹏, 赵文, 等. 南水北调后密云水库浮游植物多样性及水生态环境评价[J]. 吉林水利, 2020(5): 1-6+17.
- [4] 王哲, 赵文, 魏杰, 等. 北京金海湖浮游生物群落结构及富营养化评价[J]. 生物学杂志, 2020, 37(6): 88-93.
- [5] 董显坤, 赵文, 任剑申, 等. 南水北调后密云水库浮游动物多样性及水生态环境评价[J]. 吉林水利, 2020(6): 1-6+11.
- [6] 雷衍之. 养殖水环境化学实验[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006.
- [7] 赵文. 水生生物学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2016.
- [8] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. 第4版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [9] 胡鸿钧, 魏印心. 中国淡水藻类——系统、分类及生态[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [10] 胡鸿钧, 李尧英, 魏印心, 等. 中国淡水藻类[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1980.
- [11] 蒋燮治, 堵南山. 中国动物志. 节肢动物门 甲壳纲[M]. 北京: 科学出版社, 1979.
- [12] 王家楫. 中国淡水轮虫志[M]. 北京: 科学出版社, 1961.
- [13] 刘鸿亮. 湖泊富营养化调查规范[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1987.
- [14] 赵文. 养殖水域生态学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2011.
- [15] 陈昱, 刘方平, 吴彩云, 等. 鄱阳湖流域典型种植模式农田地表径流与氮磷流失特征[J]. 灌溉排水学报, 2023, 42(7): 101-108.
- [16] GIBSON, G., CARLSON, R., SIMPSON, J., SMELTZER, E. and KENNEDY, R. Nutrient criteria technical guidance manual lakes and reservoirs. Washington DC: EPA, 2000.
- [17] 袁聪, 陶诗雨, 张莹莹, 等. 安康水库表层浮游藻类群落结构及其与环境因子的关系[J]. 应用生态学报, 2015, 26(7): 2167-2176.
- [18] 况琪军, 周广杰, 胡征宇. 三峡库区藻类种群结构与密度变化及其与氮磷浓度的相关性分析[J]. 长江流域资源与环境, 2007, 16(2): 231-235.
- [19] 万莉. 四明湖水库浮游生物群落结构及其动态[D]: [博士学位论文]. 宁波: 宁波大学, 2014.
- [20] 周萌, 李裴, 王忠锁. 密云水库浮游动物多样性格局[J]. 首都师范大学学报(自然科学版), 2013, 34(6): 33-42.