

# 石头河水库浮游生物群落结构及水生态评价

杨玉霞<sup>1</sup>, 沈强<sup>2</sup>, 胡俊<sup>2</sup>, 王文平<sup>3</sup>

(1. 黄河水资源保护科学研究院, 郑州 450004;

2. 水利部中国科学院水工程生态研究所, 水利部水工程生态效应与生态修复重点实验室, 武汉 430079;

3. 陕西省石头河水库灌溉管理局, 咸阳 712000)

**摘要:**调查石头河水库的浮游生物, 评价水库水生态状况, 为进一步保护水库水质、优化水源地管理提供科学依据。2014 年 4 月在石头河水库设置 6 个采样点, 调查浮游植物及浮游动物, 利用浮游生物完整性(P-IBI)评价水生态健康状况, 从水生生境、人类活动影响 2 方面评价生境状况。共采集到浮游植物 6 门 59 种(属)(其中硅藻门 16 属 37 种), 平均密度  $20.86 \times 10^4$  个/L、平均生物量 0.936 mg/L, 膝曲裸藻在 6 个样点均为优势种; 共采集到浮游动物 34 属 42 种(其中原生动物 18 种、轮虫 16 种), 平均密度 5 107 个/L、平均生物量 162.56  $\mu\text{g/L}$ 。6 个采样点的 P-IBI 均大于 4.34, 水生态健康等级均为优; 水生生境、人类活动影响评价等级均为优, 生境状况优。石头河水库浮游生物优势种过于单一, 建议加强水生生物监测。

**关键词:**石头河水库; 浮游生物; 群落结构; 水生态评价

**中图分类号:** S932 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-3075(2019)06-0024-06

石头河水库位于陕西省宝鸡市眉县、岐山县、太白县交界处的石头河上, 是 20 世纪 80 年代初建成的一座以农业灌溉为主的水利枢纽工程, 自 1996 年 6 月开始供生活用水, 成为陕西省关中西部一座重要的城市供水水源地, 目前承担着西安、宝鸡、咸阳杨凌区的供水任务, 年平均供水量 1.02 亿  $\text{m}^3$ 。石头河水库水源地水质良好, 达到《地表水环境质量标准》(GB3838-2002) II 类水质标准。2016 年, 石头河水库列入全国重要饮用水水源地名录。

相关文献表明(邓建明等, 2010; 李秋华等, 2007; 龚路军等, 2010; 杨丽标等, 2011), 湖泊、河流、水库浮游生物群落结构与水生生境关系密切, 湖库水生态评价间接反映水质状况。目前, 关于石头河水库研究多集中在水资源优化调度、径流预报、水污染防治、水质评价等方面(郑燕等, 2008; 魏超峰, 2011; 王通, 2017; 黎晓峰, 2011), 水生态评价尚未见报道。随着石头河流域内经济的快速发展, 特别是农业及生活垃圾污染有逐年加重的趋势, 水库水体存在污染风险。本文于 2014 年 4 月首次调查了石头河水库的浮游生物、评价水库水生态状况, 为进一步保护水库水质、优化水源地管理提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 调查断面

按照水生生物采样规范, 依次在水库上游、中游和坝前设置 6 个采样点(图 1), 采样点 GPS 位置信息见表 1。

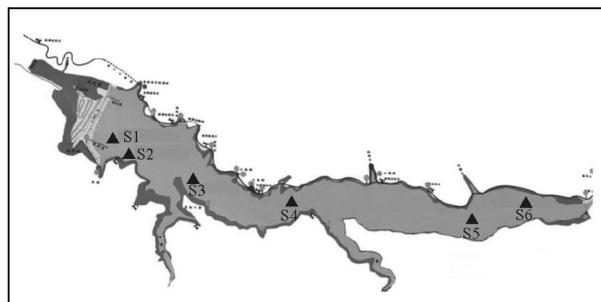


图 1 石头河水库采样点分布

Fig.1 Location of the sampling sites in Shitouhe Reservoir

表 1 石头河水库采样点坐标

Tab.1 Information of the sampling sites in Shitouhe Reservoir

样点编号	样点名称	经度	纬度
S1	石头河水库坝前 50 m	107.6469878	34.16557306
S2	石头河水库坝前	107.6441667	34.16294444
S3	石头河水库库中	107.6455556	34.15916667
S4	石头河水库库中	107.6428375	34.15035639
S5	石头河水库库尾	107.6456528	34.13512028
S6	石头河水库库尾(靠近河床)	107.6445542	34.12910083

收稿日期: 2018-08-03

基金项目: 中央分成水资源费项目(1261420145070)。

作者简介: 杨玉霞, 1981 年生, 高级工程师, 主要从事水资源和水生态保护工作。E-mail: yyx0378@163.com

## 1.2 样品采集

定性样品:选择样点处水流较缓的水域,用25#(浮游甲壳动物用13#)浮游生物网在水面下作水平“∞”形运动捞取浮游生物。样品采集、处理后于室内采用光学显微镜10×40倍观察,鉴定种类。

定量样品:用2.5 L采样器在水下0.5 m、1.5~2.5 m和离水底0.5 m处各取1份水样,等量混合后取1 L混合水样于室内沉淀48 h,浓缩至30 mL,然后取0.1 mL样品于0.1 mL计数框内进行视野法计数并鉴定种类,用细胞体积法推算生物量(章宗涉,1991)。

## 1.3 数据分析

1.3.1 优势度分析 浮游生物优势种根据每个种的优势度值( $Y$ )来确定(刘贤等,2016;胡俊等,2017)。

$$Y = (n_i / N) \times f_i \quad (1)$$

式中: $n_i$ 为第*i*种的个体数, $N$ 为所有种类总个体数, $f_i$ 为出现频率。 $Y$ 值大于20%的种类为优势种。

1.3.2 多样性分析 浮游生物多样性采用Shannon-Wiener多样性指数( $H$ )表示(曹然等,2017;徐琼等,2016;胡忠军等,2017)。

$$H = -\sum_{i=1}^n P_i \ln P_i \quad (2)$$

式中, $n$ 表示总物种数, $P_i$ 表示第*i*个物种占总数的比例。

## 1.4 水生态评价

1.4.1 水生态健康评价 通过浮游生物完整性(P-IBI)评价水生态健康状况。考虑分析数据的可获取性程度,参考已有P-IBI评价指标体系,结合黄河流

域的地理环境、气候等特征及水生态调查基础数据,构建的石头河水库浮游生物完整性评价指标体系如表2。

通过对入选参数数据标准化后建立赋值计算公式和浮游生物完整性评价分级标准。采用比值法进行各参数量纲的统一。以所有样点IBI值分布的95%分位值作为最佳期望值,将低于该值的分布范围进行5等分,靠近95%分位值的1等分代表被测样点处于健康状态为优,其余4等分依次代表良、中、差、劣。具体分级标准见表3。

1.4.2 生境评价 针对石头河水库实际情况,借鉴有关历史资料及研究成果,从水生生境、人类活动影响方面评价生境。评价指标体系见表4。

## 2 结果与分析

### 2.1 浮游植物

2.1.1 种类 共采集到浮游植物59种(属),分属6门。石头河水库浮游植物种类组成以硅藻占大多数。浮游植物总体种类组成见表5,各样点种类组成见图2。

2.1.2 密度 浮游植物密度变动范围 $15.65 \times 10^4 \sim 24.78 \times 10^4$ 个/L,平均 $20.86 \times 10^4$ 个/L。从库尾至坝前逐渐降低:库尾S6最高,S4和S5断面次之,靠近水库坝前的S1、S2采样点最低。详见图3。

各样点密度的种类组成见图4。裸藻密度占各样点总密度的38.33%~70.00%,平均48.88%。库尾的S6点有一定蓝藻分布(10.53%),库中的S3、S4点隐藻的比例相对较高,其中S4样点隐藻(40.00%)超过裸藻(34.74%)成为主要优势藻类。

表2 浮游生物评价指标体系参数信息及赋值计算公式

Tab.2 Parameter information and algorithms for calculating plankton evaluation index

编号	参数名称	含义	对压力的响应	赋值公式
1	藻类密度	藻类的细胞密度,能直接说明水体中藻类的多少和水华暴发的强度,是表征浮游植物生物量的最常用的指标之一。	增加	$(95\% \text{分位值} - \text{藻类密度}) / (95\% \text{分位值} - 5\% \text{分位值})$ (沈强等,2012)
2	藻类平均个体重量	单个浮游藻类的平均个体体积	下降	藻类平均个体重量/5.347
3	藻类生物多样性指数	Shannon-Wiener 指数	下降	藻类生物多样性指数/2.646
4	%浮游动物/浮游植物	浮游动物与浮游植物密度百分比	下降	$(\% \text{浮游动物} / \text{浮游植物}) / 0.036$
5	%水华藻类	潜在产毒的水华藻类(主要为微囊藻、束丝藻、鱼腥藻)占藻类的密度比	增加	$(0.8754 - \% \text{水华藻类}) / 0.8754$
6	%不可食藻类密度	难被浮游动物摄食藻类占总藻类密度比	增加	$(0.579 - \% \text{不可食藻类密度}) / 0.579$

表3 水源地浮游生物完整性评价分级标准

Tab.3 Ranking criteria of water ecological health assessment based on the plankton index of biotic integrity

P-IBI 分值范围	≥4.34	3.25~4.34	2.17~3.25	1.08~2.17	≤1.08
水生态健康等级	优	良	中	差	劣

表4 石头河水库生境状况评价指标体系

Tab.4 Habitat evaluation index for Shitouhe Reservoir

一级指标	二级指标	评价等级				
		优	良	中	劣	差
水生 生境	植被覆盖度	>80%	60%~80%	40%~60%	20%~40%	<20%
	植被分布	连续分布	半连续分布	丛状分布	分散分布	无植被分布
	岸带侵蚀状况	无明显侵蚀	少量侵蚀, <20%	中度侵蚀, 20%~50%	极度侵蚀, 50%~80%	绝大部分侵蚀, >80%
人类 活动 影响	岸带土地 利用类型	农业用地、绿地和 水体面积≥75%	75%>农业用地、 绿地和水体面积 ≥50%,城镇设施 用地≤25%	50%>农业用地、 绿地和水体面积 ≥25%,25%<城 镇设施用地< 50%	农业用地、绿地和 水体面积<25%, 城镇设施用地≥ 50%	其他
	护岸措施	植被完好, 无土壤裸露	植被保持一般,部 分土壤裸露,或采 用人工草皮护岸	植被退化,主要为 芦苇、木桩等,或 人工砌石护岸等	无防护型、河水直 接冲刷护岸土壤, 或钢筋混凝土护 岸	无护岸
	水源地可能 存在的污染源	无污染	污染影响不超过 评价区的5%	污染影响不超过 评价区的10%	污染影响不超过 评价区的30%	污染影响超过 评价区的30%

表5 石头河水库浮游植物组成

Tab.5 Phytoplankton composition at phylum level in Shitouhe Reservoir

组成	蓝藻门	硅藻门	隐藻门	甲藻门	裸藻门	绿藻门	合计
属	1	16	1	2	1	7	28
种	3	37	2	2	8	7	59
种类 比例/%	5.08	62.71	3.39	3.39	13.56	11.86	100

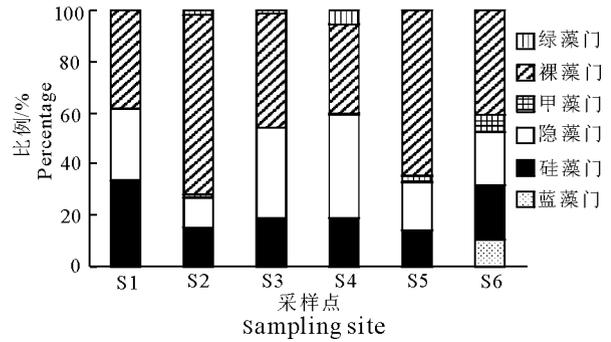


图4 石头河水库浮游植物密度组成

Fig.4 Composition of phytoplankton density at each sampling site in Shitouhe Reservoir

2.1.3 生物量 石头河水库各采样点浮游植物生物量变动范围在 0.569 ~ 1.269 mg/L, 平均 0.936 mg/L, 见图 5。其中, 库尾 S5 样点最高, S4、S6 次之, 坝前的 S1 断面最低。生物量的空间变化与密度变化趋势一致。

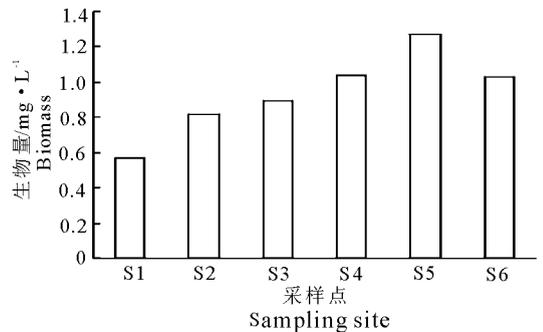


图5 各采样点浮游植物生物量

Fig.5 Phytoplankton biomass at each sampling site in Shitouhe Reservoir

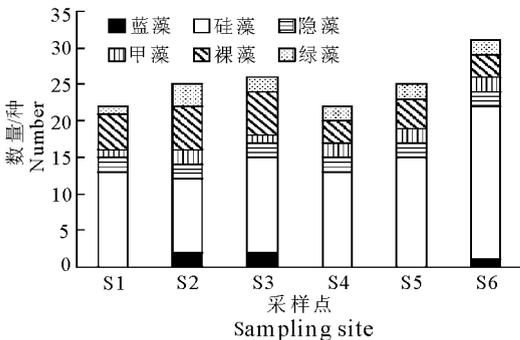


图2 石头河水库各采样点浮游植物种类

Fig.2 Phytoplankton composition at each sampling site in Shitouhe reservoir

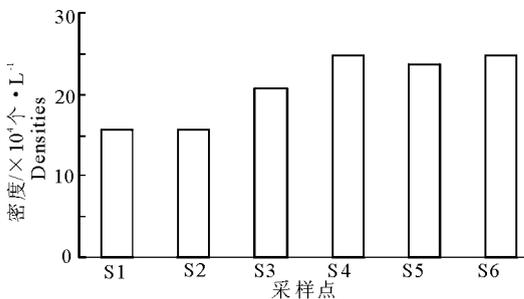


图3 各采样点浮游植物密度

Fig.3 Phytoplankton density at each sampling site in Shitouhe Reservoir

各样点生物量组成见表 6。石头河水库浮游植物生物量组成大部分是裸藻, 占总生物量的 67.25%~89.83%, 平均 76.14%; 其次为隐藻, 占总生物量的 5.72%~27.08%, 平均 16.80%。其它藻类比例较少。

库尾 S6 样点藻类门类较多, 有甲藻、蓝藻分布并达到一定的生物量(依次为 9.63%、0.40%); 从上游至坝前, 除了裸藻、隐藻外, 其他藻类门类的生物量组成逐渐减少。至坝前 S1 采样点, 主要是由裸藻门(71.79)%、隐藻门(20.83)%、硅藻门(7.37%)组成。

表 6 石头河水库浮游植物生物量组成 %

Tab.6 Composition of the phytoplankton biomass at each sampling site in Shitouhe Reservoir

采样点	蓝藻门	硅藻门	隐藻门	甲藻门	裸藻门	绿藻门	合计
S1	0	7.37	20.83	0	71.79	0	100
S2	0	2.35	5.72	2.01	89.83	0.08	100
S3	0	4.26	22.77	0	72.91	0.06	100
S4	0	4.08	27.08	1.60	67.25	0	100
S5	0	2.28	10.07	2.60	85.04	0	100
S6	0.40	5.67	14.31	9.63	69.99	0	100

2.1.4 优势种 石头河水库浮游植物优势种见表 7。优势藻类主要为适应在静水水体中生长的膝曲裸藻(*Euglena geniculata*), 其密度和生物量在坝前至库尾均占明显优势。此外, 库中的 S3、S4 样点次优势种有卵形隐藻(*Cryptomonas ovata*)。

表 7 石头河水库浮游植物优势种

Tab.7 Dominant phytoplankton species at each sampling site in Shitouhe Reservoir

采样点	优势种		
	种	密度比例/%	生物量比例/%
S1	膝曲裸藻 <i>Euglena geniculata</i>	23.33	46.15
S2	膝曲裸藻 <i>Euglena geniculata</i>	38.33	52.64
S3	膝曲裸藻 <i>Euglena geniculata</i>	35.44	58.84
	卵形隐藻 <i>Cryptomonas ovata</i>	20.25	14.01
S4	膝曲裸藻 <i>Euglena geniculata</i>	31.58	54.40
	卵形隐藻 <i>Cryptomonas ovata</i>	26.32	18.89
S5	膝曲裸藻 <i>Euglena geniculata</i>	50.55	68.07
S6	膝曲裸藻 <i>Euglena geniculata</i>	36.84	63.81

## 2.2 浮游动物

2.2.1 种类 浮游动物共 34 属 42 种, 见表 8。原生动物最多, 轮虫次之, 桡足类和枝角类很少。

2.2.2 密度 浮游动物的密度变动范围在 647~8 838 个/L, 平均 5 107 个/L, 见表 9。原生动物、轮虫、浮游甲壳动物密度比例分别为 97.90%、2.06%、0.04%。从空间分布看, 库中 S4 采样点密度最高、S5 样点次之, 坝前的 S2 样点最低。

表 8 石头河水库浮游动物

Tab.8 Zooplankton composition at the phylum level in Shitouhe Reservoir

类群	种类数/种	比例/%
原生动物	18	42.86
轮虫	16	38.10
枝角类	3	7.14
桡足类	5	11.90
合计	42	100.00

表 9 石头河水库各断面浮游动物密度 个/L

Tab.9 Zooplankton density composition at each sampling site in Shitouhe Reservoir

浮游动物	S1	S2	S3	S4	S5	S6
原生动物	4800	600	4200	8700	8100	3600
轮虫	120	45	180	135	120	30
浮游甲壳动物	2	2	4	3	2	0
合计	4922	647	4384	8838	8222	3630

2.2.3 生物量 浮游动物生物量变动范围在 60.05~240.51  $\mu\text{g/L}$ , 平均 162.56  $\mu\text{g/L}$ , 见表 10。原生动物、轮虫、浮游甲壳动物生物量比例分别为 46.44%、42.20%、11.35%。生物量从空间分布看, 库中的 S4 样点最高, S3、S5 次之, S2 样点最低。

表 10 石头河水库各断面浮游动物生物量  $\mu\text{g/L}$

Tab.10 Zooplankton biomass composition at each sampling site in Shitouhe Reservoir

浮游动物	S1	S2	S3	S4	S5	S6
原生动物	75.86	9.00	83.65	122.07	120.12	42.30
轮虫	82.80	23.93	105.12	94.20	91.20	14.40
浮游甲壳动物	14.75	20.34	33.84	24.25	14.22	3.35
合计	173.41	53.26	222.61	240.51	225.54	60.05

## 2.3 水生态评价

2.3.1 水生态健康评价 石头河水库浮游生物 P-IBI 在 4.779~5.420, 见图 6。各采样点的 P-IBI 差别较小, 库尾处的 S5 采样点最高(5.420), 坝下的 S2 样点最低(4.779)。6 个采样点的 P-IBI 均大于 4.34, 水生态健康等级均为优。

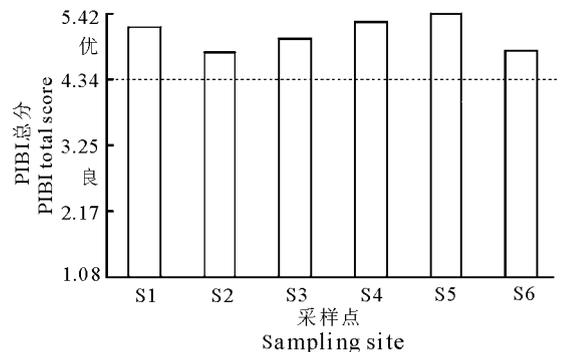


图 6 石头河水库 P-IBI 评价结果

Fig.6 Plankton index of biotic integrity (P-IBI) evaluation for each sampling site in Shitouhe Reservoir

2.3.2 生境评价 对调查区域的生境按前述指标对调查现状进行赋值,再取各项二级指标分值的评价值作为一级指标分值,然后根据一级指标权重计算出最终结果(表 11)。从生境评价结果看,石头河水库生境状况为优,总体保护状况良好。

表 11 石头河水库水生生境评价结果

Tab.11 Aquatic habitat evaluation of Shitouhe Reservoir

一级指标	二级指标	现状评价	评估等级
自然生境	植被覆盖度	>80%	优
	植被分布	连续分布	优
	岸带侵蚀状况	无明显侵蚀	优
人类活动影响	岸带土地	农业用地、绿地和	优
	利用类型	水体面积≥75%	
	护岸措施	植被完好,无土壤裸露	优
	潜在污染源	无污染	优

### 3 结论

本研究采集到石头河水库浮游植物 6 门 59 种(属),种类组成以硅藻占大多数;浮游动物 34 属 42 种,原生动物种类最多。6 个采样点的 P-IBI 均大于 4.34,水生态健康等级均为优;生境评价结果为优,总体保护状况良好。

本次调查时间为 4 月,该季节裸藻为绝对优势种且达到一定生物量的现象值得关注。浮游生物过于单一的优势种会降低生态系统的稳定性,因此,建议今后加强水生生物监测,为进一步开展研究积累经验 and 数据。

#### 参考文献

曹然,黎征武,毛建忠,等. 2017.北江大型底栖无脊椎动物群落结构及水质的生物评价[J].水资源保护,33(4): 80 -

87.

- 邓建明,蔡永久,陈宇炜,等,2010.洪湖浮游植物群落结构及其与环境因子的关系[J].湖泊科学,22(1): 70 - 78.
- 龚珞军,张仕萍,熊邦喜,等,2010.不同类型湖泊夏季浮游生物多元聚类分析[J].水生生物学报,34(1): 43 - 50.
- 胡俊,杨玉霞,池仕运,等. 2017.邛山提灌站浮游植物群落结构空间变化对环境因子的响应[J].生态学报,37(3): 1054 - 1062.
- 胡忠军,莫丹玫,周小玉,等,2017.千岛湖浮游植物群落结构时空分布及其与环境因子的关系[J].水生态学杂志,38(5): 46 - 54.
- 李秋华,韩博平,2007.基于 CCA 的典型调水水库浮游植物群落动态特征分析[J].生态学报,27(6): 2355 - 2364.
- 黎晓峰,2011.石头河水库面向灌区水资源优化调度管理系统研究[D].西安:西安理工大学.
- 刘贤,莫凌,陈峻峰,等. 2016.海南省文澜江底栖动物群落结构及其水质生物学评价[J].水生态学杂志,37(6): 30 - 36.
- 王通,2017.石头河水库年径流预报模型研究[D].杨凌:西北农林科技大学.
- 魏超峰,2011.石头河水库水污染防治现状及对策措施[J].地下水,33(5): 79 - 80.
- 徐琼,贾克力,李文宝,等,2016.达里诺尔湖夏季浮游植物群落结构及分布特征[J].水生态学杂志,37(6): 14 - 22.
- 杨丽标,韩小勇,孙璞,等,2011.巢湖藻类组成与环境因子典范对应分析[J].农业环境科学学报,30(5): 952 - 958.
- 章宗涉,黄祥飞,1991.淡水浮游生物研究方法[M].北京:科学出版社.
- 郑燕,王高成,2008.石头河水库水质评价分析及防护措施[J].陕西水利,(S2): 62 - 63.

(责任编辑 张俊友)

## Plankton Community Structure and Water Ecology Assessment in Shitouhe Reservoir, Shaanxi Province

YANG Yu-xia<sup>1</sup>, SHEN Qiang<sup>2</sup>, HU Jun<sup>2</sup>, WANG Wen-ping<sup>3</sup>

(1. The Yellow River Water Resources Protection Research Institute, Zhengzhou 450004, P.R. China

2. Institute of Hydroecology, Ministry of Water Resources and Chinese Academy of Sciences, Key Laboratory of Ecological Impacts of Hydraulic-Project and Restoration of Aquatic Ecosystem of Ministry of Water Resources, Wuhan 430079, P.R. China

3. Shitouhe reservoir irrigation management bureau, Shaanxi Province, Xianyang 712000, P.R. China)

**Abstract:** Shitouhe Reservoir, located in Shaanxi Province, is an important drinking water source. In this study, we carried out the first investigation of plankton community structure in Shitouhe Reservoir and evaluated the water ecology and habitat status based on the plankton index of biotic integrity (P-IBI) and habitat evaluation index. The aims of the study were to explore biological methods of assessing water quality in Shitouhe Reservoir and provide reference data for environmental monitoring, assessment and management of the drinking water source. In April 2014, plankton sampling was carried out at 6 sites (Site 1 – Site 6) from the dam to the backwater of the reservoir. A total of 59 phytoplankton species from 6 phyla were collected, with dominance by Bacillariophyta (37 species, 16 genera) that accounted for 62.71% of the total plankton species. Phytoplankton density and biomass were in the ranges of  $15.65 \times 10^4 - 24.78 \times 10^4$  ind/L and 0.569 – 1.269 mg/L, with average values of  $20.86 \times 10^4$  ind/L and 0.936 mg/L. Phytoplankton density and biomass both gradually decreased from the backwater area to the dam. *Euglena geniculata* was the dominant species for the six sampling sites. A total of 42 zooplankton species from 34 genera were identified, dominated by protozoans (18 species) and rotifers (16 species). The average values of zooplankton density and biomass were 5 107 ind/L and 162.56 mg/L. The P-IBI for the six sampling sites all exceeded 4.34, indicating that water ecology for the reservoir, as a whole, was excellent. The habitat status of Shitouhe Reservoir is generally good, based on the habitat evaluation index system reflecting the aquatic habitat and the effects of human activities. Furthermore, *Euglena geniculata* was the only dominant species during the investigation, indicating simplification of the plankton community structure and decreased ecosystem stability. We recommend increased monitoring of aquatic organisms to more closely track biodiversity and system resilience.

**Keywords:** Shitouhe Reservoir; plankton; community structure; water ecology assessment