



引用格式：

许洛维, 黄国佳, 王晓清, 徐建, 曾聪, 彭娜, 李潇. 株树桥水库浮游动物群落结构特征及水质评价[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2020, 46(1): 77–83.

XU L W, HUANG G J, WANG X Q, XU D J, ZENG C, PENG N, LI X. Characterization of the zooplankton community and assessment of the water quality in Zhushuqiao Reservoir[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2020, 46(1): 77–83.

投稿网址 : <http://xb.hunau.edu.cn>

## 株树桥水库浮游动物群落结构特征及水质评价

许洛维, 黄国佳, 王晓清\*, 徐大建, 曾聪, 彭娜, 李潇

(湖南农业大学动物科学技术学院, 湖南 长沙 410128)

**摘要:** 2016年4、6、8、10、12月和2017年3月, 对湖南省浏阳市株树桥水库进行6次浮游动物和水质理化指标的调查分析。结果显示: 水库中有浮游动物102种, 其中原生动物31种、轮虫21种、枝角类23种、桡足类27种, 在夏季、春季、秋季、冬季的采样调查中鉴定出的种类依次减少, 原生动物、轮虫类、枝角类的种类数均在春季达最高值, 桡足类的则在夏季达最高值, 主要优势种为简弧象鼻溞(*Bosmina coregoni*)、广布中剑水蚤(*Mesocyclops leuckarti*)、裸腹溞属(*Moina* sp.)、发头裸腹溞(*Moinairrassa*)、中华似玲壳虫(*Tintinnopsis sinensis*)、哲水蚤属(*Calanus* sp.)等10种; 浮游动物的平均密度为52.27 ind./L, 变化范围为6.9~304.5 ind./L, 枝角类、桡足类、原生动物和轮虫的密度占浮游动物总密度的比例依次降低, 秋季、夏季、冬季、春季的平均生物密度依次降低; 浮游动物的年平均总生物量为2.13 mg/L, 枝角类、桡足类、轮虫、原生动物的平均生物量依次降低; 浮游动物的种群类别可分为2大类群, 细分为3小类群, 高锰酸钾指数、溶氧和可溶性正磷3种水质指标对各采样点浮游动物种群类别的影响相关性最高; 香农指数、均匀度指数和丰富度指数年均值分别为1.27、0.56和1.53; 株树桥水库年均水温为21.23 °C, 年均透明度为2.09 m, 年均pH值为7.45, 水体总体呈弱碱性, 年均叶绿素含量为18.67 μg/L, 高锰酸钾指数和溶氧、总磷、总氮、可溶性正磷、铵态氮含量年均值分别为2.11、7.32、0.03、1.75、0.02、0.11 mg/L, 综合各水质理化因子和修正营养状态指数显示, 水体处于中度污染和中-富营养水平, 作为饮用水水源地, 其水质需进一步加强管理与调控。

**关键词:** 浮游动物; 群落结构; 香农指数; 均匀度指数; 丰富度指数; 修正营养状态指数; 富营养化; 株树桥水库

中图分类号: Q958.8 文献标志码: A 文章编号: 1007-1032(2020)01-0077-07

## Characterization of the zooplankton community and assessment of the water quality in Zhushuqiao Reservoir

XU Luowei, HUANG Guojia, WANG Xiaoqing\*, XU Dajian, ZENG Cong, PENG Na, LI Xiao

(College of Animal Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China)

**Abstract:** We collected samples from Zhushuqiao Reservoir in Liuyang city, Hunan province for six times in April, June, August, October, December of 2016 and March of 2017. The samples were subject to analysis of zooplankton and water physical and chemical indicators. The results showed that 102 species of zooplankton were identified in the reservoir, and the amounts of protozoa, rotifer, cladocera, copepoda were 31, 21, 23, 27, respectively. The number of species identified in the sampling surveys in summer, spring, autumn and winter decreased in order. The number of protozoa, rotifers and branch horns dominated in spring, and the copepod dominated in summer. The dominant species were 10 species

收稿日期: 2019-03-03

修回日期: 2019-04-08

基金项目: 中国科学院“百人计划”项目(Y62302)

作者简介: 许洛维(1990—), 男, 湖南岳阳人, 主要从事渔业资源与环境研究, 522591579@qq.com; \*通信作者, 王晓清, 博士, 教授, 主要从事水生生物资源环境研究, wangxiao8258@126.com

including *Bosmina coregoni*, *Mesocyclops leuckarti*, *Moina* sp., *Moinairrasa*, *Tintinnopsis sinensis*, *Calanus* sp., etc. The average zooplankton density was 52.27 ind/L with a range of 6.90-304.50 ind./L. The ratios of densities of cladocerans, copepods, protozoa and rotifers in the total zooplankton density decreased in order, and the average biological density of autumn, summer, winter and spring decreased in turn. The annual average total biomass of zooplankton was 2.13 mg/L, the average biomass of cladocerans, copepods, rotifers and protozoa decreased in turn. The zooplankton population category can be divided into 2 groups, subdivided into 3 small groups. The impact of the three indicators, the dissolved oxygen, potassium permanganate index, and ortho phosphorus had significant impact on zooplankton population types. The Shannon's diversity index, evenness index and abundance index were 1.27, 0.56 and 1.53, respectively. The annual average water temperature of Zhushuqiao Reservoir was 21.23 °C, the annual average dissolved oxygen 2.67 mg/L, the annual average transparency 2.09 m, and the annual average pH value 7.45 and the water body generally weakly alkaline, the annual average chlorophyll 18.67 µg/L. And, the annual average potassium permanganate index and the annual average contents of dissolved oxygen, total phosphorus, total nitrogen, ortho phosphorus, ammonia nitrogen were 2.11, 7.32, 0.03, 1.75, 0.02, 0.11 mg/L. Integrating physical and chemical factors of the water body and modified Carlson trophic state index showed that the water body was at moderate pollution and medium-eutrophic level. This indicated that Zhushuqiao Reservoir, as a source of drinking water, require to strengthen the management and regulation for anti-pollution.

**Keywords:** zooplankton; community structure; shannon-wiever; pielou's index; margalef's index; modified Carlson trophic state index; eutrophication; Zhushuqiao Reservoir

浮游动物生命周期短,群落结构受多种环境因子影响,不少种类对水体富营养化具指示性作用<sup>[1]</sup>。由于近年湘江流域水污染日趋严重,造成水质性缺水,生态环境也趋向恶化,开发长沙市新的饮用水源迫在眉睫。浏阳市株树桥水库在此期间作为长沙第二饮用水源应运而生。株树桥水库地处湖南浏阳市浏阳河一级支流——小溪河上游,水库积水面积564 km<sup>2</sup>,最高蓄水位165 m,蓄水量2.29×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>,多年平均流量为17.60 m<sup>3</sup>/s,年平均径流量为5.55×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>。水库以发电为主,兼有旅游、灌溉、渔业、防洪和供水等。

笔者于2016年4月到2017年3月对株树桥水库浮游动物的群落结构进行为期1年的调查,运用典范对应分析法,研究浮游动物与环境因子的相关性,探讨其指示性作用,旨在为株树桥水库的饮用水安全和渔业资源的利用提供依据。

## 1 样品采集及项目测定

### 1.1 采样时间和位置

于2016年4、6、8、10、12月和2017年3月对株树桥水库进行6次采样调查。从上游至下游设置5个采样点,依次是:JBJ(蒋埠江,28°12'56"N,113°56'58");HZ(洪庄,28°14'2"N,113°55'43"E);KZ(库中,28°12'57"N,113°54'31"E);DXY(大溪源,28°11'54"N,113°53'9"E);DB(大坝,28°10'51"N,113°51'10"E)。每个采样点根据水深设置不同水层:

在表层0.50 m处采表层水,每隔3~10 m向下设1个采样水层,直至水库底层。

### 1.2 样品采集与测定

浮游动物样品的采集与处理均参考《淡水浮游生物调查技术规范》(SC/T 9402—2010)进行。定性样品用25#浮游生物网在表层水面至0.5 m深处采集,现场用甲醛固定,带回实验室镜检鉴定其种类。定量样品每个采样点每层采集20 L水,用25#浮游生物网浓缩至100 mL,置于标本瓶,用甲醛固定,于实验室静置沉淀24~48 h后用显微镜(Eclipse E100,尼康)鉴定、计数。参照《中国淡水生物图谱》<sup>[2]</sup>和《水生生物学》<sup>[3]</sup>的方法,混匀沉淀样品,在显微镜下,鉴定浮游动物的种类并计数。

采用便携式YSI多参数水质分析仪(DZB-718,雷磁)在现场测定水样的pH值和温度(*T*);通过塞氏盘(3 m,尤荟丽)测定水体透明度(SD);用水下照度计(ZDS-10W-2D,高致精密)测定光照度;按GB 3838—2002地表水环境质量标准<sup>[4]</sup>的方法,于实验室测定高锰酸钾指数(COD<sub>Mn</sub>)和溶氧(DO)、总磷(TP)、总氮(TN)、氨氮(NH<sub>4</sub>-N)、可溶性正磷(PO<sub>4</sub>)、叶绿素(Chl.a)含量。

### 1.3 数据分析

使用PRIMER 7计算优势度(*Y*)<sup>[5]</sup>、修正营养状态指数(TSI<sub>M</sub>)<sup>[6-7]</sup>、香农指数(*H'*)<sup>[8]</sup>、丰富度指数(*D*)和均匀度指数(*J*)。*H'*=0表示全部个体均属于1种生

物,全部个体各属不同种时,  $H'$ 最大;在水质评价时,  $0 < H' \leq 1$  为重污染;  $1 < H' \leq 2$  为  $\alpha$ -中污型,  $2 < H' \leq 3$  为  $\beta$ -中污型,  $H' > 3$  为清洁水体。运用 PRIMER 7 将数据标准化并完成聚类和 RDA 分析。结果中, 春季的数据为 2017 年 4 月采样所测的数据, 夏季的数据为 2017 年 6 月和 8 月采样所测数据的平均值, 秋季的数据为 2017 年 10 月采样所测的数据, 冬季的数据为 2017 年 12 月和 2018 年 3 月采样所测数据的平均值。

表 1 株树桥水库主要水质指标

Table 1 Environmental factors of Zhushuqiao Reservoir

指标	年度变化范围	年平均值	GB 3838 - 2002 的标准值 <sup>[4]</sup>
$T/^\circ\text{C}$	12.60~33.70	21.23±5.82	周平均最大温升 1.00 或周平均最大温降 2.00
$\text{DO}/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	4.52~10.75	7.32±1.14	6.00(II类水)
$\text{SD}/\text{m}$	0.70~3.20	2.09±0.58	
pH 值	5.90~8.92	7.45±0.63	6.00~9.00
$\text{COD}_{\text{Mn}}/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	1.30~3.85	2.11±0.47	4.00(II类水)
$\text{TP}/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	0.00~0.24	0.03±0.02	0.10(II类水)
$\text{TN}/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	0.05~4.04	1.75±1.07	2.00(V类水)
$\text{NH}_4^-\text{N}/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	0.00~0.55	0.11±0.14	0.15(I类水)
$\text{PO}_4^{3-}/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	0.00~0.15	0.02±0.03	
$\text{Chl.a}/(\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1})$	1.78~65.89	18.67±13.43	

依照 GB 3838 - 2002 的地表水环境质量标准, 以叶绿素 a 含量评价, 株树桥水库水质达到中富营养化水平;以总氮(TN)含量评价, 该水质达到中富营养化水平;以总磷(TP)含量评价, 该水质达到富营养化水平;以透明度评价, 该水质达到富营养化水平;以溶解氧含量评价, 该水质达到中富营养化水平。综合各项水质理化因子来看, 株树桥水库水体处于中-富营养状态。

依照湖泊、水库富营养化等级划分标准(表 2)<sup>[6]</sup>,  $\text{TSI}_M(\text{TP})$ 指指数年平均值为 25.65, 水体属于贫营养型;  $\text{TSI}_M(\text{Chl.a})$ 指指数年平均值为 53.20, 水体属于富营养型;  $\text{TSI}_M(\text{SD})$ 指指数年平均值为 55.51, 水体属于富营养型。综上所述, 株树桥水库水质呈现中-富营养状态<sup>[6,9]</sup>。

表 2 湖泊和水库富营养化等级划分标准<sup>[6]</sup>

Table 2 Lake eutrophication classification standard

营养类型	$\text{TSI}_M(\text{TP})$	$\text{TSI}_M(\text{Chl.a})$	$\text{TSI}_M(\text{SD})$
贫营养型	<30	<30	<30
中营养型	30~50	30~50	30~50
富营养型	<50~100	<50~100	<50~100

## 2.2 浮游动物种类组成

6 次采样调查, 株树桥水库中共鉴定出浮游动

## 2 结果与分析

### 2.1 株树桥水库水质理化指标和水体营养状态

如表 1 所示, 依照 GB 3838 - 2002 的地表水环境质量标准, 株树桥水库水体的 pH 值和温度符合标准; 氨氮符合 I 类水标准; 高锰酸钾指数、溶氧和总磷符合 II 类水标准; 总氮属于 V 类水标准。综合评定水库水质偏向 II 类水标准<sup>[4]</sup>。

物 102 种, 其中原生动物 31 种, 占总数的 30%; 轮虫 21 种, 占总数的 21%; 枝角类 23 种, 占总数的 23%; 桡足类 27 种, 占总数的 26%。具体种类组成见图 1。在夏季的采样调查中鉴定出的种类最多, 达 60 种, 春季的 51 种, 秋季的 22 种, 冬季的只有 19 种; 原生动物、轮虫类、枝角类浮游动物种类数均在春季达最高值, 分别为 22、11、14 种, 桡足类的则在夏季达最高值, 为 27 种。原生动物、轮虫、枝角类的种类数均由春季到冬季逐渐下降; 而桡足类的种类数春季、秋季和冬季呈下降趋势, 但夏季有一个上升的过程(图 2)。

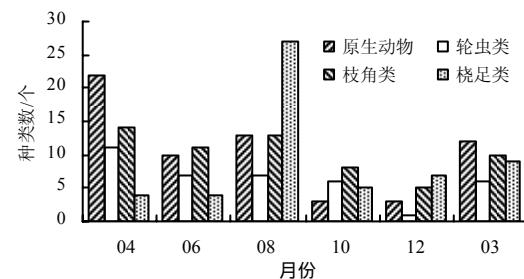


图 1 株树桥水库浮游动物种类分布

Fig.1 Zooplankton distribution in Zhushuqiao Reservoir

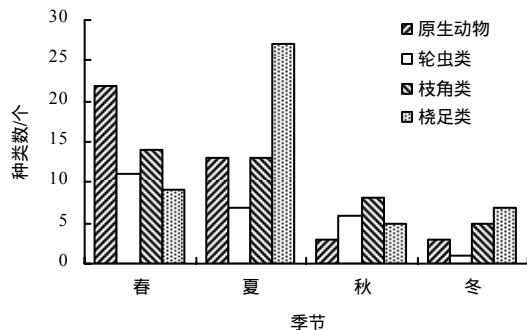


图 2 株树桥水库浮游动物种类季节变化

Fig.2 Seasonal changes of zooplankton species in Zhushuqiao Reservoir

### 2.3 浮游动物的生物密度和生物量

株树桥水库年均浮游动物生物密度为 6.9~

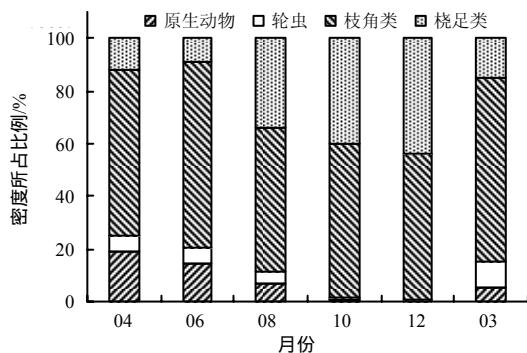


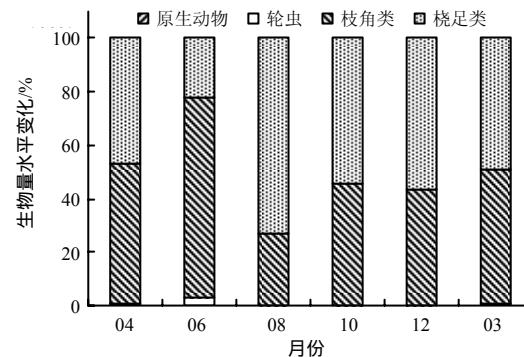
图 3 株树桥水库浮游动物的生物密度(左)和生物量(右)周年变化

Fig.3 Annual changes in density and biomass of the Zhushuqiao reservoir

### 2.4 浮游动物优势种分析

如表 3 所示,优势种以优势度( $Y$  0.02)来衡量,株树桥水库全年浮游动物优势种共鉴定出 10 种,其中枝角类和桡足类各占 4 种,轮虫和原生动物各有 1 种。春季共检出 6 种优势种,其中简弧象鼻溞(*Bosmina coregoni*)和裸腹溞属(*Moina* sp.)优势度最

304.5 ind./L, 平均为 52.27 ind./L。枝角类密度占浮游动物总密度的 60.95%, 桡足类占 29.59%, 原生动物和轮虫所占的比例较低, 分别为 5.27% 和 4.19%。浮游动物的生物密度各个季节差异十分明显, 秋季的平均生物密度最高, 达 104.73 ind./L; 夏季的次之, 平均生物密度为 43.83 ind./L; 冬季生物密度的平均为 39.79 ind./L; 春季的生物密度最低, 仅为 26.49 ind./L。株树桥水库年均浮游动物总生物量为 2.13 mg/L。原生动物的平均生物量最低, <0.01 mg/L; 轮虫的较低, 为 0.02 mg/L, 枝角类和桡足类占比较高, 分别为 1.06 mg/L 和 1.05 mg/L, 各占浮游动物总生物量 49.77% 和 49.30%。浮游动物的生物密度和生物量具体见图 3。



高; 夏季有 3 种优势种, 其中简弧象鼻溞优势度最高; 秋季和冬季均有 5 种优势种, 其中简弧象鼻溞和广布中剑水蚤(*Mesocyclops leuckarti*)优势度最高。简弧象鼻溞和广布中剑水蚤是全年各季共有的优势种。

表 3 株树桥水库浮游动物的优势种和优势度

Table 3 Dominant species and dominance of zooplankton in Zhushuqiao Reservoir

优势种	优势度( $Y$ )				
	春季	夏季	秋季	冬季	
原生动物	中华似玲壳虫( <i>Tintinnopsis sinensis</i> )	0.02	0.03		
轮虫	晶囊轮虫( <i>Asplanchna priodonalis</i> )	0.02			
枝角类	简弧象鼻溞( <i>Bosmina coregoni</i> )	0.52	0.62	0.54	0.30
	长额象鼻溞( <i>Bosmina longirostris</i> )			0.03	
桡足类	裸腹溞属( <i>Moina</i> sp.)	0.08		0.11	
	发头裸腹溞( <i>Moina rassae</i> )	0.07			
	无节幼体( <i>Nauplius</i> )			0.03	
	广布中剑水蚤( <i>Mesocyclops leuckarti</i> )	0.05	0.02	0.33	0.25
	哲水蚤属( <i>Calanus</i> sp.)			0.02	0.03
	猛水蚤属( <i>Harpacticoida</i> sp.)			0.02	

## 2.5 浮游动物聚类分析

从图 4 可知, 株树桥水库浮游动物的种群类别可分为 2 大类群, 细分为 3 小类群。采样点 JBJ 和 KZ 的浮游动物是 1 个类群, 相似度更接近; 采样点 HZ、DB 和 DXY 的浮游动物可分为 1 大 2 小类群, 采样点 DB 和 DXY 的相似成分更大, 采样点 HZ 的则可单独成为 1 个类别。而通过水质指标 RDA 分析, 显示 DO、COD<sub>Mn</sub> 和 PO<sub>4</sub> 3 种水质指标对各采样点浮游动物种群类别的影响相关性最高(图 5), 其中 COD<sub>Mn</sub> 对 HZ 的影响最大, 呈正相关, PO<sub>4</sub> 对采样点 DB 和 DXY 的影响最大, 呈正相关, DO 对采样点 JBJ 和 KZ 的影响最大, 呈正相关, 其结果与聚类分析结果一致。

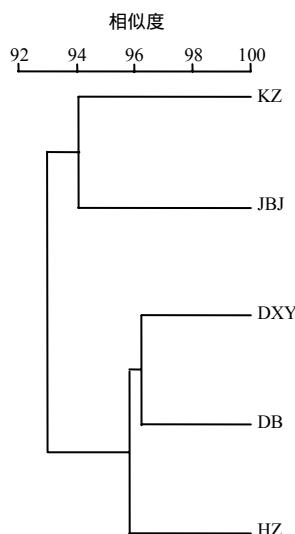
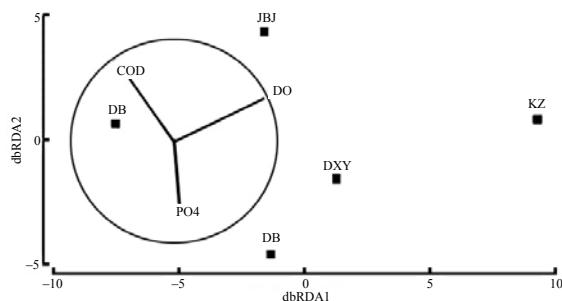


图 4 株树桥水库浮游动物群落的聚类分析结果

Fig.4 Clustering dendrogram of Zooplankton community in Zhushuqiao Reservoir



横坐标得分为 73.5%, 总变异为 75.9; 纵坐标得分为 21.5, 总变异为 22.2%。

图 5 株树桥水库各个采样点浮游动物种群类别与水质指标 RDA 分析结果

Fig.5 Results of RDA analysis of zooplankton population types and water quality indicators at each sampling point in Zhushuqiao Reservoir

## 2.6 浮游动物多样性指数分析

株树桥水库的浮游动物  $H'$  年均值为 1.27,  $D$  年均值为 1.53,  $J$  年均值为 0.56。如图 6 所示,  $J$  和  $D$  的变化趋势相同, 春季到秋季呈现缓慢下降, 秋季到冬季又略有增高;  $H'$  的变化趋势不明显, 最高值出现在冬季。根据  $H'$  判断各采样点的污染程度为  $\alpha$ -中度污染,  $D$  表明各采样点水体处于中度污染,  $J$  表明各采样点水体处于清洁-轻度污染。

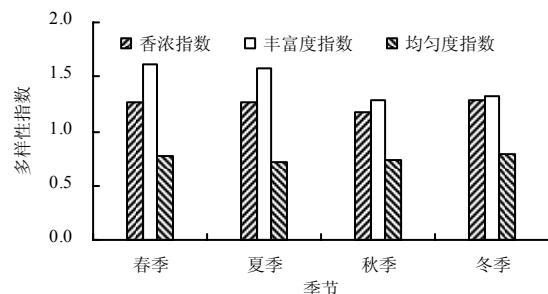


图 6 株树桥水库浮游动物多样性指数的季节变化

Fig.6 Seasonal variation of zooplankton diversity index in Zhushuqiao Reservoir.

## 3 结论与讨论

在水库营养结构中, 浮游动物是极其重要的消费者。浮游动物是鱼类的天然饵料, 对浮游植物和微生物的生长、繁殖和发展具有重要的作用<sup>[10]</sup>。以浮游动物作为指示种, 对水质进行评价时, 为减少某些种类在多个污染级别中出现而带来的影响, 优先应用其优势种<sup>[10]</sup>。株树桥水库浮游动物优势种中的中华似铃壳虫、晶囊轮虫、简弧象鼻溞、长额象鼻溞、裸腹溞、广布中剑水蚤均为中污性指示种的代表<sup>[11-13]</sup>, 且在所有优势种中比重远超 60%。综合各个优势种评价, 株树桥水库正处于中等污染水平。

6 次调查中发现, 株树桥水库中有 102 种浮游动物, 其中原生动物种类数量最多, 枝角类、桡足类其次, 轮虫最少; 在密度和生物量的变化上, 枝角类和桡足类占据绝对优势; 在群落结构上, 小型浮游动物占比较高, 大型浮游动物占比较低。原生动物、轮虫、枝角类的种类在春季达到最高, 在秋季和冬季较低, 而桡足类在夏季出现急剧上升的趋势, 有可能是夏季水温较高, 细菌大量繁殖, 为桡足类提供了充足的食物。赵帅营等<sup>[14]</sup>研究表明, 轮虫和枝角类竞争关系呈现负相关, 当某些水体中枝角类丰度占据优势时, 会对轮虫产生抑制作用而使

其丰度降低。株树桥水库枝角类在所有浮游动物中占比超过 60%，对轮虫形成较大的竞争压力。滤食性鱼类的丰度对浮游动物生物量和种类组成具有显著影响，其对浮游动物的捕食是影响浮游动物群落结构的主要因素<sup>[15]</sup>。温度与捕食能决定浮游生物群落丰度、结构，甚至会导致浮游动物的群落演替。近年为保护株树桥水库饮用水水资源，采取禁渔措施，可能导致捕食下行效应降低，枝角类和桡足类面临巨大的摄食压力，从而致使枝角类与桡足类成为优势类群。对比聚类分析与 RDA 分析表明，DO、COD<sub>Mn</sub> 和 PO<sub>4</sub> 在各项水质指标中影响最显著，JBJ 和 KZ 采样点的浮游动物种群类别受 DO 影响更大，HZ、DXY 和 DB 采样点的受 COD<sub>Mn</sub> 和 PO<sub>4</sub> 影响相关性更大。

普遍认为浮游动物丰度与水体营养物质呈正相关，水质污染状况与浮游动物多样性指数呈负相关<sup>[16]</sup>。群落结构和物种组成的变化不仅反映水污染的程度，也反映污染发展的方向。物种的增加、密度的降低和均匀度的增加表明水质的改善；反之，则表明水质的恶化<sup>[17]</sup>。各个生物都有其最适生境。生境不同，形成生物的种类类别不同。生物的个体生态学变化指标和分布规律，可指示水体污染状况。本研究结果与杨小林<sup>[12]</sup>对株树桥水库的研究结果有所异同，相同的是均表现为上游水质较下游水质差，不同的是本研究中生物多样性结果表明全面水体均呈现  $\alpha$ -中度污染，综合营养状态指数表明水库水质为中-富营养，水库的整体水质状况比杨小林研究时期稍差。其原因可能是营养物含量增加，导致多样性减少，使得水库处于一个水质缓慢恶化的过程中。

本研究中，浮游动物群落结构变化情况显示，春季到夏季种类数增加，夏季到秋季种类数急剧减少，秋季到冬季种类数持续降低，说明库区水质有明显恶化过程。原因可能是春、夏季水库水温升高，叶绿素增加，部分浮游植物种类暴增，而致使部分浮游动物种类数突增而形成的一系列变化；反之，秋季和冬季水温降低，叶绿素减少，相应的藻类减少，浮游动物种类受此影响减少。本研究中，株树桥水库水体中氨氮、总磷、高锰酸钾指数等多项指标均符合或超过 II 类水标准，因此，判定水体处于 II 类水状态。根据香农指数判断各采样点

的污染程度为  $\alpha$ -中度污染，丰富度指数表明各采样点水体处于中度污染状态，均匀度指数 J 表明各采样点水体处于清洁-轻度污染状态<sup>[18-20]</sup>。根据湖泊富营养化等级划分标准，TSI<sub>M</sub>(TP)、TSI<sub>M</sub>(Chl.a) 和 TSI<sub>M</sub>(SD) 3 项结果显示，株树桥水库水质处于中-富营养状态。

本研究期间，株树桥水库水质偏向国家地表水 II 类水标准，水体处于中度污染和中-富营养状态。为了更好保护饮用水资源，要根据浮游动物饵料生物量情况适当调整鲢鳙鱼放养比例，控制周边地区氮磷的输入，特别是减少上游地区生产生活的影晌，保护库区饮用水水环境，预防水体富营养化，保障人民饮用水用水安全。

#### 参考文献：

- [1] 王晓清，曾亚英，吴含含，等.湘江干流浮游生物群落结构及水质状况分析[J].水生生物学报, 2013, 37(3): 488-494.  
WANG X Q, ZENG Y Y, WU H H, et al. Investigation on plankton community composition and water quality state in the mainstream of Xiangjiang river[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2013, 37(3): 488-494.
- [2] 韩茂森，束蕴芳.中国淡水生物图谱[M].北京：海洋出版社，1995.  
HAN M S, SHU Y F. Atlas of Freshwater Organisms in China [M]. Beijing: Ocean Press, 1995.
- [3] 何志辉.水生生物学[M].北京：人民教育出版社，1960.  
HE Z H. Aquatic Biology [M]. Beijing: People's Education Press, 1960.
- [4] GB 3838—2002 地表水环境质量标准[S].  
GB 3838—2002 Environmental quality standards for surface water[S].
- [5] 高倩，徐兆礼.瓯江口夏、秋季浮游动物种类组成及其多样性[J].生态学杂志, 2009, 28(10): 2048-2055.  
GAO Q, XU Z L. Species composition and diversity of zooplankton in Oujiang River estuary in summer and autumn[J]. Chinese Journal of Ecology, 2009, 28(10): 2048-2055.
- [6] 杨梅玲，胡忠军，刘其根，等.利用综合营养状态指数和修正的营养状态指数评价千岛湖水质变化(2007 年—2011 年)[J].上海海洋大学学报, 2013, 22(2): 240-245.  
YANG M L, HU Z J, LIU Q G, et al. Evaluation of water quality by two trophic state indices in Lake Qiandaohu during 2007-2011[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2013, 22(2): 240-245.
- [7] 王明翠，刘雪芹，张建辉.湖泊富营养化评价方法及

- 分级标准[J]. 中国环境监测, 2002, 18(5): 47-49.
- WANG M C, LIU X Q, ZHANG J H. Evaluation method and classification standard on lake eutrophication[J]. Environmental Monitoring In China, 2002, 18(5): 47-49.
- [8] 林青. 滴水湖浮游动物群落结构与环境因子的关系及水质综合评价研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2013.
- LIN Q. Study on the relationship between zooplankton community structure and environmental factors along with comprehensive evaluation of water quality in Dishui Lake [D]. Shanghai: East China Normal University, 2013.
- [9] 张觉民, 何志辉. 内陆水域渔业自然资源调查手册 [M]. 北京: 农业出版社, 1991.
- ZHANG J M, HE Z H. Manual for Survey of Fishery Natural Resources in Inland Waters [M]. Beijing: Agriculture Press, 1991.
- [10] 沈韫芬. 微型生物监测新技术[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1990.
- SHEN Y F. New Technology for Microbiological Monitoring[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 1990.
- [11] 王凤娟. 巢湖东半湖浮游生物与水质状况及营养类型评价[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2007.
- WANG F J. Evaluation of water quality and the type of nourishment in the east-half of lake Chaohu by means of plankton[D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2007.
- [12] 杨小林. 株树桥水库浮游动物群落结构特征及水质生物学评价[D]. 长沙: 南林业科技大学, 2008.
- YANG X L. Study on the community characteristics of zooplankton in Zhushuqiao Reservoir and biological evaluation of water quality [D]. Changsha: Central South University of Forestry and Technology, 2008.
- [13] 鞠永富, 于洪贤, 于婷, 等. 西泉眼水库夏季浮游动物群落结构特征及水质评价[J]. 生态学报, 2016, 36(16): 5126-5132.
- JU Y F, YU H X, YU T, et al. The zooplankton community structure and water quality of Xiquanyan Reservoir [J]. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(16): 5126-5132.
- [14] 赵帅营, 韩博平. 基于个体大小的后生浮游动物群落结构分析——以广东星湖为例[J]. 生态学报, 2006, 26(8): 2646-2654.
- ZHAO S Y, HAN B P. Size structure of the metazoan zooplankton community in a tropical lake: Xinghu Lake, South China[J]. Chinese Journal of Ecology, 2006, 26(8): 2646-2654.
- [15] ŚWIERZOWSKI A, GODEWSKA M, PÓŁTORAK T. The relationship between the spatial distribution of fish, zooplankton and other environmental parameters in the Solina reservoir, Poland[J]. Aquatic Living Resources, 2000, 13(5): 373-377.
- [16] PINTO-COELHO R, PINEL-ALLOUL B, MÉTHOT G, et al. Crustacean zooplankton in lakes and reservoirs of temperate and tropical regions: variation with trophic status[J]. Canadian Journal of Fisheries & Aquatic Sciences, 2005, 62(2): 348-361.
- [17] 谢进金, 许友勤, 陈寅山, 等. 晋江流域水质污染与浮游动物四季群落结构的关系[J]. 动物学杂志, 2005, 40(5): 8-13.
- XIE J J, XU Y Q, CHEN Y S, et al. The relationship of community structure of zooplankton and the water pollution of the Jinjiang river valley[J]. Chinese Journal of Zoology, 2005, 40(5): 8-13.
- [18] 刘超, 禹娜, 陈立侨, 等. 上海市西南城郊河道春季的浮游生物组成及水质评价[J]. 复旦学报(自然科学版), 2007, 46(6): 913-919.
- LIU C, YU N, CHEN L Q, et al. Zooplankton communities and bio-assessment of five Rivers in the outskirts unit of southwest Shanghai[J]. Journal of Fudan University (Natural Science), 2007, 46(6): 913-919.
- [19] ROGOZIN A G. Specific structural features of zooplankton in lakes differing in trophic status: species populations[J]. Russian Journal of Ecology, 2000, 31(6): 405-410.
- [20] WANG X F, ZHANG C X, GONG Y Y, et al. Zooplankton community structure and seasonal patterns in the Zhanjiang Harbor waters, China[C]//2011 International Symposium on Water Resource and Environmental Protection. Xi'an: IEEE, 2011, 3: 1943-1946.

责任编辑: 邹慧玲

英文编辑: 柳 正