

# 团结水库浮游动物群落结构与水质评价

景德清<sup>1</sup>, 柴一涵<sup>2</sup>, 鞠永富<sup>3</sup>, 柴青宇<sup>4</sup>, 于洪贤<sup>5\*</sup>, 柴方营<sup>4\*</sup>, 孙旭<sup>6</sup>

<sup>1</sup>北京师范大学天津附属中学, 天津

<sup>2</sup>东北林业大学奥林学院, 黑龙江 哈尔滨

<sup>3</sup>哈尔滨学院地理与旅游学院, 黑龙江 哈尔滨

<sup>4</sup>黑龙江科技大学管理学院, 黑龙江 哈尔滨

<sup>5</sup>东北林业大学野生动物与自然保护地学院, 黑龙江 哈尔滨

<sup>6</sup>大连海洋大学水产与生命学院, 辽宁 大连

Email: \*china.yhx@163.com, \*chaifangying@126.com

收稿日期: 2021年8月3日; 录用日期: 2021年9月2日; 发布日期: 2021年9月9日

## 摘要

2020年9月(秋季)、2021年5月(春季)、2021年7月(夏季), 分别对团结水库浮游动物进行调查。共鉴定浮游动物28种, 其中原生动物的8种, 占总物种数的28.57%, 轮虫12种, 占总物种数的42.86%, 枝角类3种, 占总物种数的10.71%, 桡足类5种, 占总物种数的17.86%。该水库浮游动物以轮虫为主, 枝角类和桡足类种数较少。浮游动物总丰度秋季最高为21,060.65 ind/L, 总生物量春季最高为35.61 mg/L。该水库水体各季节理化因子的平均值呈现出季节性差异。Shannon-Wiener指数和Pielou均匀度指数分别为2.46~3.76和0.36~0.64。水质评价结果多为轻污, 偶有中污。

## 关键词

团结水库, 浮游动物, 理化因子, 生态系统, 生物多样性

# Community Structure of Zooplankton and Assessment of the Water Quality in Tuanjie Reservoir

Deqing Jing<sup>1</sup>, Yihan Chai<sup>2</sup>, Yongfu Ju<sup>3</sup>, Qingyu Chai<sup>4</sup>, Hongxian Yu<sup>5\*</sup>, Fangying Chai<sup>4\*</sup>, Xu Sun<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Tianjin High School Affiliated with Beijing Normal University, Tianjin

<sup>2</sup>Aulin College, Northeast Forestry University, Harbin Heilongjiang

\*通讯作者。

文章引用: 景德清, 柴一涵, 鞠永富, 柴青宇, 于洪贤, 柴方营, 孙旭. 团结水库浮游动物群落结构与水质评价[J]. 自然科学, 2021, 9(5): 707-717. DOI: 10.12677/ojns.2021.95076

<sup>3</sup>School of Geography and Tourism, Harbin University, Harbin Heilongjiang

<sup>4</sup>School of Management, Heilongjiang University of Science and Technology, Harbin Heilongjiang

<sup>5</sup>College of Wildlife and Protected Area, Northeast Forestry University, Harbin Heilongjiang

<sup>6</sup>College of Fisheries and Life Science, Dalian Ocean University, Dalian Liaoning

Email: \*china.yhx@163.com, \*chaifangying@126.com

Received: Aug. 3<sup>rd</sup>, 2021; accepted: Sep. 2<sup>nd</sup>, 2021; published: Sep. 9<sup>th</sup>, 2021

## Abstract

Zooplankton in Tuanjie Reservoir were investigated separately in September 2020 (fall), May 2021 (spring), and July 2021 (summer). 28 species of zooplankton were identified, of which 12 species were protozoas, accounting for 28.57%, 12 species were rotifers, accounting for 42.86%, 3 species were cladoceros, accounting for 10.71%, and 5 species were copepods, accounting for 17.86%. Rotifers were the main species of zooplankton in the reservoir, and cladoceros and copepods were few. The total abundance of zooplankton peaked at 21,060.65 ind/L in autumn. In spring, the total biomass reached a maximum of 35.61 mg/L. The mean values of physical and chemical factors in the reservoir showed seasonal differences. Shannon-Wiener index and Pielou index were 2.46~3.76 and 0.36~0.64, respectively. The evaluation results show that the water quality is mostly light pollution, occasionally middle level pollution.

## Keywords

Tuanjie Reservoir, Zooplankton, Physical and Chemical Factors, Ecosystem, Biodiversity

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

## 1. 引言

随着社会经济的发展,越来越多的水库被作为城市饮用水水源地,其不仅具有防洪、灌溉、发电功能,还承担了保障城市供水的职能,具备较高生态系统服务价值[1]。水库水源地因其独有的生态脆弱性,其生态保护要比其他地区承担更多的生态建设任务,遵守更严格的法规要求和水质标准[2]。目前我国已经修建水库 8.5 万余座,黑龙江省已建和基本建成的水库共计 497 座。其中大型水库(总库容  $10^8 \text{ m}^3$  以上) 12 座,中型水库(总库容  $10^7 \sim 10^8 \text{ m}^3$ ) 68 座,小型(I)水库(总库容  $10^6 \sim 10^7 \text{ m}^3$ ) 234 座,小型(II)水库(总库容  $10^5 \sim 10^6 \text{ m}^3$ ) 182 座。还有未建成的各类水库 277 座。全省水库设计总蓄水量  $3.4 \times 10^9 \text{ m}^3$ ,现有蓄水能力  $1.9 \times 10^9 \text{ m}^3$ ,占设计能力的 56%,占全省河川径流总量的 30%。这些水库在防洪、灌溉、发电、工业、人民生活用水和养鱼等综合利用上发挥着明显的作用,水库的年供水量约  $1.1 \times 10^9 \text{ m}^3$ 。黑龙江省主要的大型水库有 12 个,穆稜县最南部共和乡境内的团结水库就是其中之一。团结水库按百年一遇洪水的设计,最大泄洪流量  $922 \text{ m}^3/\text{s}$ ,输水道最大泄流量  $147 \text{ m}^3/\text{s}$ ,曾于 1986、1991 成功防治洪水,减轻了下游洪水灾害。同时团结水库为共和乡周边地区提供大量电能和供水,以库区自然风光和人文景观形成的旅游核心区,促进了该区的经济发展。鉴于团结水库的经济和人文价值,保护其淡水生态环境促使其健康发展

尤为重要。

浮游动物通常体型微小、种类繁多，广泛分布于各类水体中，是水生生物群落的重要组成部分，其能够摄食浮游植物、细菌和腐质，也能被其他大型浮游动物和游泳动物等次级消费者所捕食，是生产者与次级消费者间能量传递的主要环节[3] [4]。与其他水生动物相比，它们体型小，数量多，代谢活性强，具有稳定水生态系统结构与功能的重要作用。此外，由于浮游生物种类和数量随环境变化而变化，因此可以作为生物监测的指示种，并常被用来反映水库的水质状况[5] [6]。

一些浮游动物对水质变化极为敏感，作为水体污染的指示性生物，对污染物有指示、富集和转化作用，浮游动物的群落结构特征与水质变化有密切联系，因而浮游动物在水质监测和水环境净化中发挥着重要作用[7] [8]。目前，浮游动物群落结构变化和生物多样性监测手段已广泛应用于湖泊水库生态环境评价研究中[9] [10]。

本文基于对团结水库浮游动物的季节性调查，测定了团结水库的水体理化指标，研究了其浮游动物群落结构、丰度、生物量，以期对团结水库进行水质测评，为保护该水库水体环境提供科学依据。

## 2. 材料与方法

### 2.1. 研究地概况

团结水库(130°8'~130°11'E, 44°01'~44°04'N)位于黑龙江省穆棱市穆棱河干流上游森林腹地，建于1981年，目的是为当地居民提供饮用水，同时具有防洪、灌溉、养鱼、发电、和美学价值。团结水库表面积 445 km<sup>2</sup>，库容 8.63 × 10<sup>7</sup> m<sup>3</sup>，水库形如“Y”形[11]。水库年均蒸发量 950 毫米，年均降水量 534 毫米，主要集中在 6~9 月。水库所在地区受温带大陆性季风气候影响，年均日照时长 2613 小时。最高气温 37.6 摄氏度，最低气温-44.1 摄氏度，年均气温 1 摄氏度。夏季湿热，冬季常冷并有冰雪覆盖。

### 2.2. 采样点设定

本调查于 2020 年 9 月(秋季)、2021 年 5 月(春季)、7 月(夏季)进行，结合水库的周边环境和浮游动物分布特点共设置 5 个采样点(S1、S2、S3、S4、S5)，其中 S1 为水库上游，S2 为十号坝，S3 为馒头山，S4 为库心，S5 为大坝上游(图 1，表 1)。



**Figure 1.** Location of sampling sites in Tuanjie Reservoir  
**图 1.** 团结水库采样点分布

**Table 1.** Five sampling sites coordinate in Tuanjie Reservoir**表 1.** 团结水库五个采样点名称及坐标

采样点	纬度(N)	经度(E)
S1 水库上游	44°01'48"	130°11'24"
S2 十号坝	44°03'36"	130°10'48"
S3 馒头山	44°03'00"	130°09'36"
S4 库心	44°04'12"	130°10'36"
S5 大坝上游	44°04'48"	130°10'48"

## 2.3. 样品采集

### 2.3.1. 浮游动物样品的采集、处理和鉴定

每个采样点分别于春季(5月)、夏季(7月)、秋季(9月)进行了三次水样及浮游动物样品的采集。根据《内陆水域渔业自然资源调查手册》[12]的要求,每次分别用轮虫用采水器从水体顶部(距地表水 0.5 m)、中部和底部(距水床 0.5 m)采集 1 L 混合水样,滴加 10 ml Lugol 试剂当场固定,静置 48 h 并虹吸至 30 ml。吸取 1 ml 待测样品置于浮游动物计数框内进行全片计数。枝角类和桡足类在上、中、下层各采集 20 L 水样,每层用 5 L 采水器分 4 次完成,共收集 60 L 混合水样。经 25#浮游生物网过滤后加入 5%的甲醛溶液进行固定。镜检时,将样品摇匀,吸取 1 ml 样品置于浮游动物计数框内全片计数。原生动物鉴定依据《原生动物学》[13];轮虫鉴定依据《中国淡水轮虫志》[14];枝角类鉴定依据《中国动物志》(淡水枝角类)[15];桡足类鉴定依据《中国动物志》(淡水桡足类)[16]。

### 2.3.2. 水体理化指标的测定

每个采样点的水温(WT)、电导率(Cond)、pH 值、溶解氧(DO)、氨态氮( $\text{NH}_4^+\text{-N}$ )、硝态氮( $\text{NO}_3^-\text{-N}$ )、氯离子( $\text{Cl}^-$ )和浊度(NTU)使用 YSI-6600 便携式多功能水质分析仪进行现场测定。水透明度(SD)和深度(Depth)用塞奇氏盘测得。在每个采样点采集上、中、下层三份共 1 L 混合水样,用样品瓶储存并置于冰盒中带回实验室进行分析,按地表水环境质量标准(GB3838-2002)对总氮(TN)、总磷(TP)、氨态氮( $\text{NH}_4^+\text{-N}$ )、硝态氮( $\text{NO}_3^-\text{-N}$ )、化学需氧量(CODMn)、五日生化需氧量(BOD5)、叶绿素 a (Chla)含量、溶解氧(DO)、和浊度(NTU)等指标进行测定。

## 2.4. 数据处理

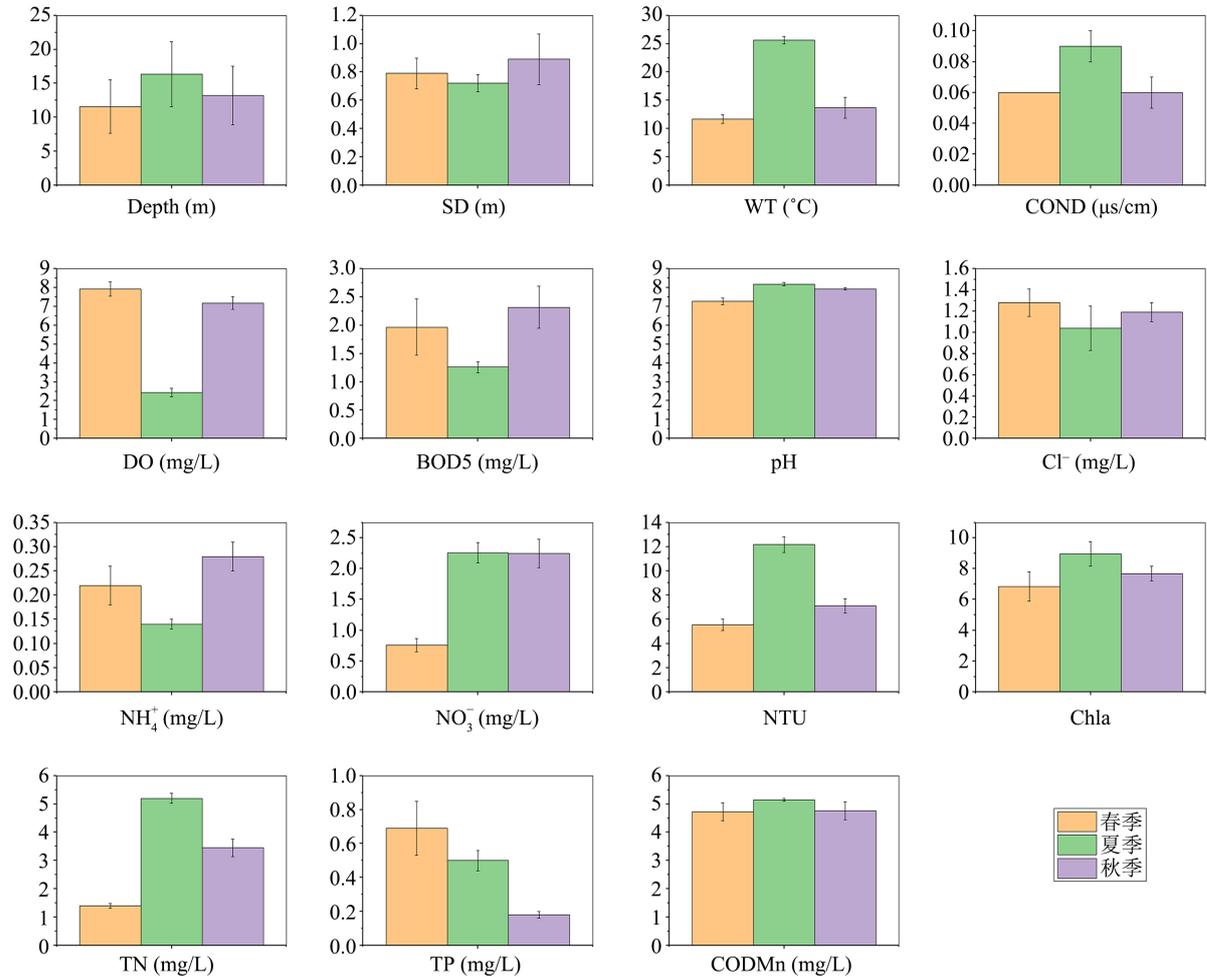
本研究使用 Microsoft Office Excel 2020 软件进行统计学分析,选择 Shannon-Wiener 多样性指数( $H'$ ) [17]、Pielou 均匀度指数( $J'$ ) [18],分析浮游动物群落结构多样性,并进行水质评价。Shannon-Wiener 多样性指数评价标准为: $H' \geq 3$  为轻污、 $1 \leq H' < 3$  为中污、 $0 \leq H' < 1$  为重污;Pielou 均匀度指数在  $J' \geq 0.5$  为轻污、 $0.3 \leq J' < 0.5$  为中污、 $0 \leq J' < 0.3$  为重污。

## 3. 结果

### 3.1. 团结水库水环境特征

团结水库水体理化指标如图 2 所示,各季节理化因子的平均值呈现出季节性差异,其中深度、水温、电导率、pH 值、浊度、叶绿素 a 含量、总氮、化学需氧量随季节更替先增大后减小,最大值均出现在夏季,除电导率和化学需氧量外最小值均出现在春季;溶解氧、透明度、五日生化需氧量、氯离子、氨氮

随季节更替先减小后增大, 最小值均出现在夏季; 仅总磷随季节更替持续减小; 硝态氮夏、秋两季变化不明显。深度、水温、pH 值、浊度、总氮和化学需氧量夏季最高; 透明度、五日生化需氧量、铵态氮含量秋季最高; 总磷和溶解氧春季最高, 硝态氮平均值春季最低而夏秋两季基本持平。



**Figure 2.** Seasonal physicochemical factors of Tuanjie Reservoir  
**图 2.** 团结水库各季节理化因子

### 3.2. 团结水库浮游动物群落结构

团结水库共鉴定出浮游动物 28 种, 其中原生动物 8 种, 占总物种数的 28.57%, 轮虫种类最多为 12 种, 占总物种数的 42.86%, 枝角类最少仅 3 种, 占总物种数的 10.71%, 桡足类 5 种, 占总物种数的 17.86% (表 2)。

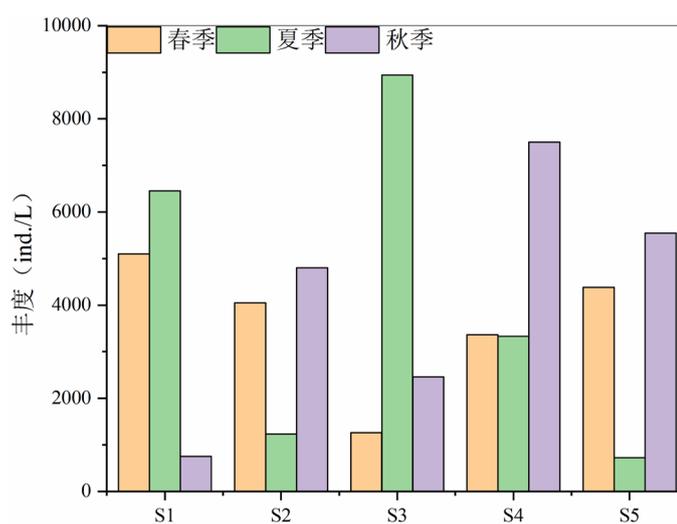
由表 3 可知, 浮游动物丰度最大值出现在夏季 S3 采样点, 最小值出现在夏季 S5 采样点。春、夏、秋季浮游动物的总丰度分别为 18,153.9 ind/L、20,677.6 ind/L 和 21,060.65 ind/L, 总丰度秋季最高; 总生物量分别为 35.61 mg/L、20.07 mg/L 和 27.25 mg/L, 总生物量春季最高。从季节上看, S2、S4、S5 采样点的浮游动物丰度秋季最大; S1、S3 采样点的浮游动物丰度夏季最大; 除 S3 采样点外, 其余各采样点春季丰度均介于夏季和秋季之间。从季节上看, S1 采样点的浮游动物生物量夏季最大; S2、S3 采样点的生物量秋季最大; S4、S5 采样点的生物量春季最大(图 3, 图 4)。

**Table 2.** Species of zooplankton  
**表 2.** 浮游动物种类

门类	属	种	拉丁名
原生动物	急游虫属	绿急游虫	<i>Strombidium viride</i>
	栉毛虫属	小单环栉毛虫	<i>Didinium balbianii nanum</i>
		双环栉毛虫	<i>Didinium nasutum</i>
	侠盗虫属	陀螺侠盗虫	<i>Strobilidium velox</i>
	钟虫属	钟形钟虫	<i>Vorticella campanula</i>
	四膜虫属	梨形四膜虫	<i>Tetrahymena priformis</i>
	草履虫属	草履虫	<i>Paramecium sp.</i>
	沙壳虫属	褐沙壳虫	<i>Difflugia avellana</i>
轮虫	轮虫属	长足轮虫	<i>Rotaria neptunia</i>
	晶囊轮虫属	卜氏晶囊轮虫	<i>Asplanchna brightwelli</i> Gosse
		前节晶囊轮虫	<i>Asplanchna priodonta</i>
	多肢轮属	针簇多肢轮虫	<i>Polyarthra trigla</i>
	三肢轮属	长三肢轮虫	<i>Filinia longiseta</i>
	龟甲轮属	螺形龟甲轮虫	<i>Keratella cochlearis</i>
		矩形龟甲轮虫	<i>Keratella quadrata</i>
	异尾轮属	冠饰异尾轮虫	<i>Trichocerca Lamarck</i>
		瓷甲异尾轮虫	<i>Trichocerca porcellus</i>
	腔轮虫属	月形腔轮虫	<i>Lecane luna</i>
	狭甲轮虫属	钩状狭甲轮虫	<i>Colurella uncinata</i>
	臂尾轮虫属	裂足臂尾轮虫	<i>Brachionus diversicornis</i>
	枝角类	象鼻蚤属	长额象鼻蚤
薄皮蚤属		透明薄皮蚤	<i>Leptodora kindti</i>
蚤属		大型蚤	<i>Daphnia magna</i>
桡足类	剑水蚤属	英勇剑水蚤	<i>Cyclops strenuus</i>
		哲水蚤	<i>Calanioda sp.</i>
	温剑水蚤属	粗壮温剑水蚤	<i>Thermocyclops dybowskii</i>
	小剑水蚤属	爪哇小剑水蚤	<i>Microcyclops javanus</i>
		无节幼体	<i>Nauplius</i>

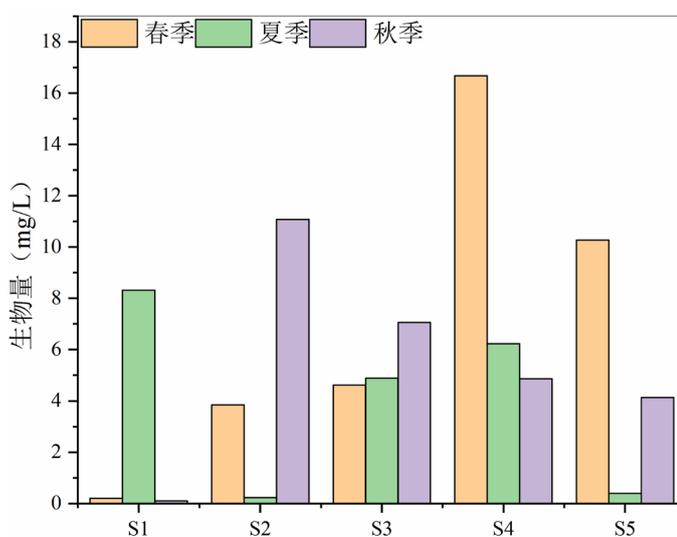
**Table 3.** Abundance (ind/L) and biomass (mg/L) of zooplankton in different seasons  
**表 3.** 不同季节浮游动物丰度值(ind/L)和生物量(mg/L)

采样点	丰度			生物量		
	春季	夏季	秋季	春季	夏季	秋季
S1	5100.3	6450.85	750	0.2	8.32	0.11
S2	4050.1	1231.15	4800.45	3.84	0.23	11.08
S3	1260.85	8941.7	2460.1	4.62	4.89	7.06
S4	3361.65	3330.9	7500.1	16.68	6.23	4.87
S5	4381	723	5550	10.27	0.4	4.13



**Figure 3.** Abundance of zooplankton in different seasons (ind/L).

**图 3.** 不同季节浮游动物丰度值(ind/L)



**Figure 4.** Biomass zooplankton in different seasons (mg/L)

**图 4.** 不同季节浮游动物生物量(mg/L)

### 3.3. 团结水库水质评价

团结水库浮游动物多样性与水质评价结果见表 4。根据 Shannon-Wiener 多样性指数评价标准对水质状况进行综合评价可知,团结水库属于轻-中污型。S1 采样点春、夏、秋季均为轻污, S2 采样点三个季节均为中污,其他采样点仅在某季节出现中污,其余季节均为轻污。夏季的平均值最大为 3.05,春季平均值最小为 2.91,表明团结水库春季为中度污染,夏、秋季为轻度污染。Shannon-Wiener 指数为 2.46~3.76,最大值出现在夏季 S1 采样点,最小值出现在夏季 S5 采样点。其中 S1 和 S3 采样点 Shannon-Wiener 多样性指数夏季最高, S4 采样点秋季最低, S5 采样点春季最高。Pielou 均匀度指数为 0.36~0.64,最大值出现在秋季 S3,最小值出现在春季 S2 和秋季 S4 采样点。春季的平均值最小为 0.48,呈现中度污染(表 4),夏、秋季平均值均为轻度污染,两指数评价结果基本一致。

**Table 4.** Evaluation of zooplankton diversity index

**表 4.** 浮游动物多样性指数评价

	春季				夏季				秋季			
	H'	水质评价	J'	水质评价	H'	水质评价	J'	水质评价	H'	水质评价	J'	水质评价
S1	3.02	轻污	0.51	轻污	3.76	轻污	0.56	轻污	3.02	轻污	0.57	轻污
S2	2.63	中污	0.36	中污	2.64	中污	0.47	中污	2.87	中污	0.47	中污
S3	2.48	中污	0.42	中污	3.21	轻污	0.54	轻污	3.12	轻污	0.64	轻污
S4	3.16	轻污	0.57	轻污	3.16	轻污	0.63	轻污	2.84	中污	0.36	中污
S5	3.24	轻污	0.54	轻污	2.46	中污	0.37	中污	3.21	轻污	0.51	轻污
平均值	2.91		0.48		3.05		0.51		3.01		0.51	
标准误	0.15		0.04		0.23		0.04		0.07		0.05	

## 4. 讨论

团结水库水体各季节理化因子的平均值呈现出季节性差异,其中深度、水温、电导率、pH 值、浊度、叶绿素 a 含量、总氮、化学需氧量随季节更替先增大后减小,最大值均出现在夏季,除电导率和化学需氧量外最小值均出现在春季;溶解氧、透明度、五日生化需氧量、氯离子、氨态氮随季节更替先减小后增大,最小值均出现在夏季;硝态氮夏、秋两季变化不明显;仅总磷随季节更替持续减小。

作为水域生态系统食物链中的初级消费者,浮游动物同时受到生产者(主要是浮游植物)和次级消费者的影响,其中浮游植物的种类组成、丰度和生物量等特征可直接影响浮游动物的组成和分布等群落特征[19]。在本次调查中团结水库浮游动物种类组成以原生动物与轮虫类为主,本研究共鉴定出包括原生动物、轮虫、枝角类、桡族类在内的 4 类 28 种浮游动物,其中轮虫种类最多为 12 种,占总物种数的 42.86%。该结果与同在东北地区的白石水库浮游动物中轮虫占 45.33%的研究结果基本一致[20],并且在对于桥水库浮游动物群进行的研究中检出浮游动物 29 种,其中轮虫 14 种[21],也与本次研究结论基本一致。轮虫可以采用滤食、掠食、捕食、吮吸等多种方式进食,除细菌、浮游植物、腐质等,也可摄食原生动物、轮虫和小型甲壳类[22],此外,轮虫类繁殖速度快、发育时间短、食物转化效率高、怀卵量大[23] [24],因此具有很强的适应能力,广泛分布于各类水体中。有研究表明[19],总磷是评价水体富营养化程度的重要指标,尤其浅水湖泊中,富营养化程度随着总磷水平的提高而加剧,浮游植物的密度和生物量也随之

升高,这也影响轮虫群落结构。将本调查的数据与2018年的数据相比,团结水库浮游动物种类减少了2种[11],可能与人类捕鱼及垂钓活动影响团结水库水体环境相关。

团结水库 S1~S5 采样点三个季节总丰度分别为 12,301.15 ind/L、10,081.7 ind/L、12,662.65 ind/L、14,192.65 ind/L、10,654 ind/L;总生物量分别为 8.63 mg/L、15.15 mg/L、16.57 mg/L、27.78 mg/L、14.8 mg/L,二者的最大值均出现在 S4 采样点,二者结果基本一致,说明该采样点各理化因子和所在位置最适合浮游动物存活。且浮游动物生物量最大值出现在春季 S4 采样点,最小值出现在秋季 S1 采样点。与同水库浮游植物调查结果比较发现,团结水库浮游植物以硅藻门(占比 49.2%)和绿藻门(占比 31.7%)为主,浮游植物丰度和生物量均在春季达到最大,其平均值也在春季最大,这表明该水域浮游植物和浮游动物具有相似的季节分布和变化规律[25]。可能的原因是 S1 采样点位于水库上游,水流湍急,浮游植物较少,浮游动物可进食的食物来源较少,而 S4 采样点位于水库中心,受人为干扰少,因此 S1 相对 S4 不利于浮游动物生存,丰度和生物量均较低。浮游动物丰度最大值出现在夏季 S3 采样点,最小值出现在夏季 S5 采样点,S3 采样点位于团结水库两个分叉中,水流较缓,生境稳定,富营养盐浓度较高[26],且夏季温度适宜有利于浮游植物生长繁殖,可以为浮游动物提供充足食物和适宜的水体环境。

团结水库浮游动物多样性指数显示,Shannon-Wiener 多样性指数和 Pielou 均匀度指数全年均是 S1 采样点最高。S1 采样点位于水库上游,水体周围植被丰富,人为干扰较少,导致浮游植物多样性较高,且夏季温度升高,有利于浮游植物和动物的生长繁殖,因此 Shannon-Wiener 指数最大值出现在夏季 S1 采样点。S2 采样点三个季节均为中度污染,S5 夏季出现指数最小值,可能的原因是 S2 采样点靠近公路,S5 采样点位于大坝上游,当地居民在这两处的捕鱼垂钓等活动会对水体产生污染,对浮游动物多样性影响较大。

浮游动物作为生态系统中的初级消费者,不仅自身受浮游植物等生产者、鱼类等次级消费者的影响,还与所在水域的各项理化因子变化息息相关。同时浮游生物的群落组成、丰度、生物量、多样性都可作为水质评价的重要标志。团结水库面积较大,库容充足,夏季最大水深超过 15 米,春、夏、秋季温度保持在 10~25 摄氏度,pH 值为 7~8,Shannon-Wiener 多样性指数和 Pielou 均匀度指数多为轻污,偶有中污出现。这些都反映出团结水库水质较好,为轻-中污型。但需要注意的是,溶解氧含量也能反映出水体的污染程度,可作为衡量水体污染的重要指标。该水库春、秋季溶解氧含量均在 7 mg/L 以上,远超过我国地面水质标准中规定的三级标准(溶解氧不低于 4 mg/L),夏季却不足 2.5 mg/L。当溶解氧含量减少到一定限度时(如小于 4 mg/L),鱼类或是一些贝类就会死亡,进而加大污染风险。有研究表明浮游动物种类数在 30℃左右最多,38℃开始明显减少,枝角类,桡足类,无节幼体数量在 30℃以下随温度的升高而增多[27]。但团结水库春、夏、秋三季各采样点总平均生物量为 7.122 mg/L、4.014 mg/L、5.45 mg/L,温度较高的夏季生物量为最小值,与上述研究结论相反,可能的原因是水中溶解氧含量随温度升高而减小,夏季温度升高导致水体中溶解氧含量过低,影响了浮游动物的生长繁殖。团结水库总磷随季节更替持续减小,在春季出现最大值。而浅水湖泊中,富营养化程度随着总磷水平的提高而加剧,浮游植物的密度和生物量也随之升高,这也能从另一个角度解释春季团结水库因浮游植物充足,浮游动物总平均生物量出现最大值的现象。

## 5. 结论

1) 团结水库共鉴定出浮游动物 28 种,其中原生动动物 8 种,轮虫种类最多为 12 种,枝角类 3 种,桡足类 5 种,该水库浮游动物以轮虫为主,枝角类和桡足类种数较少。

2) 团结水库水体各季节理化因子的平均值呈现出季节性差异。其中深度、水温、电导率、pH 值、浊度、叶绿素 a 含量、总氮、化学需氧量随季节更替先增大后减小;溶解氧、透明度、五日生化需氧量、

氯离子、氨态氮随季节更替先减小后增大；硝态氮夏、秋两季变化不明显；仅总磷随季节更替持续减小。

3) 根据 Shannon-Weaver 多样性指数评价标准对水质状况进行综合评价可知, 团结水库属于轻-中污型, Shannon-Wiener 指数和 Pielou 指数对水质评价的结果大致一致。除 S2 采样点三季均为中污外, 各季节多数采样点为轻污, 偶有中污出现, 说明团结水库水质较好, 当地居民环保意识较强, 建议继续加强对十号坝和水源地的保护。

## 基金项目

国家重点研发计划项目(2016YFC0500406), 中央财政支持地方高校改革发展基金项目“冷水鱼类资源产业化可持续利用集成技术创新研究”(2020GSP14), 黑龙江省经济社会发展重点研究课题(20309)。

## 参考文献

- [1] 孙作雷, 李亚男, 俞洁, 王飞儿. 浙江省 6 大重点水库生态服务功能价值评估[J]. 浙江大学学报(理学版), 2015, 42(3): 353-358, 364.
- [2] 彭秀莲, 黄鸿君, 余凯, 谢磊, 李冬林. 重要水库水源地生态服务价值评估——以株树桥水库为例[J]. 人民珠江, 2020, 41(1): 111-116.
- [3] Calbet, A. and Landry, M.R. (2004) Phytoplankton Growth, Microzooplankton Graazing, and Carbon Cycling in Marine Systems. *Limnology and Oceanography*, **49**, 51-57. <https://doi.org/10.4319/lo.2004.49.1.0051>
- [4] Suzuki, K., Tsuda, A., Kiyosawa, H., Takeda, S., Nishioka, J., Saino, T., *et al.* (2002) Grazing Impact of Microzooplankton on a Diatom Bloom in a Mesocosm as Estimated by Pigment-Specific Dilution Technique. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **271**, 99-120. [https://doi.org/10.1016/S0022-0981\(02\)00038-2](https://doi.org/10.1016/S0022-0981(02)00038-2)
- [5] Stenert, C., Bacca, R.C., Mostardeiro, C.C. and Maltchik, L. (2008) Environmental Predictors of Macroinvertebrate Communities in Coastal Wetlands of Southern Brazil. *Marine and Freshwater Research*, **59**, 540-548. <https://doi.org/10.1071/MF07220>
- [6] Wu, N., Schmalz, B. and Fohrer, N. (2012) Development and Testing of a Phytoplankton Index of Biotic Integrity (P-IBI) for a German Lowland River. *Ecological Indicators*, **13**, 158-167. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.05.022>
- [7] Mwebaza-Ndawula, L. (1994) Changes in Relative Abundance of Zooplankton in Northern Lake Victoria, East Africa. *Hydrobiologia*, **272**, 259-264. <https://doi.org/10.1007/BF00006526>
- [8] 孙刚, 郎宇, 房岩. 长春南湖水生生态系统中浮游动物群落特征[J]. 吉林大学学报(理学版), 2006, 44(4): 663-667.
- [9] 陈亮, 刘一, 禹娜, 冯德祥, 李二超, 贾永义, 等. 分水江水库浮游动物群落结构的初步研究及水质评价[J]. 华东师范大学学报(自然科学版), 2010(6): 72-82.
- [10] 林秋奇, 胡韧, 段舜山, 韩博平. 广东省大中型供水水库营养现状及浮游生物响应[J]. 生态学报, 2003, 23(6): 1101-1108.
- [11] Sun, X., Chai, H.X., Mwagona, P.C., Shabani, I.E., Hou, W.J., Li, X.Y., *et al.* (2019) Seasonal Variations of Zooplankton Functional Groups and Relationship with Environmental Factors in a Eutrophic Reservoir from Cold Region. *Applied Ecology and Environmental Research*, **17**, 7727-7740. [https://doi.org/10.15666/aer/1704\\_77277740](https://doi.org/10.15666/aer/1704_77277740)
- [12] 张觉民, 何志辉. 内陆水域渔业自然资源调查手册[M]. 北京: 中国农业出版社, 1991.
- [13] 王家辑. 中国淡水轮虫志[M]. 北京: 科学出版社, 1961.
- [14] 沈蕴芬. 原生动物学[M]. 北京: 科学出版社, 1991.
- [15] 蒋燮治, 堵南山. 中国动物志: 节肢动物门, 甲壳纲, 淡水枝角类[M]. 北京: 科学出版社, 1979.
- [16] 沈嘉瑞, 戴爱云, 张崇洲. 中国动物志: 淡水桡足类[M]. 北京: 科学出版社, 1979.
- [17] Shannon, E. and Wiener, W. (1949) *The Mathematical Theory of Communication*. University Illinois Press, London.
- [18] Pielou, C. (1969) *An Introduction to Mathematical Ecology*. Wiley Interscience, New York.
- [19] 龚森森, 吴嘉伟, 柴毅, 罗静波, 谭凤霞, 何勇凤, 等. 长湖浮游动物群落结构特征及其季节变化[J]. 水产科学, 2021, 40(3): 329-338.
- [20] 张荣坤, 尹东鹏, 赵文, 魏杰, 蔡志龙. 白石水库浮游动物群落结构及鱼产力研究[J]. 吉林水利, 2021(4): 1-6, 17.

- 
- [21] 王雪莹, 张新月, 雷阳, 董乾林, 卞少伟, 赵修青, 李墨. 于桥水库浮游动物群落结构与水环境因子关系多元分析[J]. 福建师范大学学报(自然科学版), 2021, 37(4): 32-40.
- [22] Virro, T., Haberman, J., Haldna, M. and Blank, K. (2009) Diversity and Structure of the Winter Rotifer Assemblage in a Shallow Eutrophic Northern Temperate Lake Vörtsjärv. *Aquatic Ecology*, **43**, 755-764.  
<https://doi.org/10.1007/s10452-009-9276-1>
- [23] 江睿明. 转轮虫的生活史特征及热休克蛋白表达特征研究[D]: [硕士学位论文]. 芜湖: 安徽师范大学, 2016.
- [24] 季娴. 轮虫繁殖研究的新进展综述[J]. 中学生物学, 2006, 22(11): 8-9.
- [25] 陈嘉熿, 孙旭, 陈嘉国, 柴青宇, 于洪贤, 柴方营, 等. 团结水库浮游植物群落结构及水质评价[J]. 东北林业大学学报, 2019, 47(3): 85-88.
- [26] 王丑明, 吴可方, 张屹, 黄代中, 田琪. 洞庭湖浮游植物时空变化特征及影响因素分析[J]. 淡水渔业, 2018, 48(4): 52-57.
- [27] 金琼贝, 盛连喜, 张然. 温度对浮游动物群落的影响[J]. 东北师大学报(自然科学版), 1991(4): 103-111.