

西泉眼水库春季浮游动物群落结构及其与水环境因子相关性分析

王云瑞^{1*}, 柴一涵^{2*}, 柴方营^{3#}, 于洪贤^{1#}, 董文涛¹, 徐甜甜¹

¹东北林业大学野生动物与自然保护地学院, 黑龙江 哈尔滨

²东北林业大学奥林学院, 黑龙江 哈尔滨

³黑龙江科技大学, 黑龙江 哈尔滨

收稿日期: 2021年9月13日; 录用日期: 2021年10月15日; 发布日期: 2021年10月22日

摘要

为了解西泉眼水库春季的水体浮游动物群落结构特征及其与水环境因子之间的关系, 于2021年5月在水库内采用内陆水域大面积定点调查方法共设置了18个采样点, 并进行浮游动物的采集和水体理化因子的测定。本文运用了优势种、生物多样性指数、RDA (冗余分析)等方法对浮游动物及水环境因子进行分析。结果共鉴定出浮游动物24种, 其中轮虫最多为15种, 占整个浮游动物群落的70.83%, 原生动物7种, 占整个浮游动物群落的29.16%, 枝角类和桡足类均只发现1种; 优势种主要包括团球领鞭虫(*Sphaeroeca*)、螺形龟甲轮虫(*Keratella cochlearis*)和无节幼体(*Nauplii*)3种; 香农维纳指数平均值为1.04、均匀度指数平均值为0.73, 评价结果显示春季西泉眼水库呈轻-中污染。冗余分析结果表明水温、TP、COD和PH是影响浮游动物群落变化的主要水环境因子。

关键词

西泉眼水库, 浮游动物, 水环境因子

Community Structure of Zooplankton in Spring and Its Relationship with Water Environmental Factors in Xiquanyan Reservoir

Yunrui Wang^{1*}, Yihan Chai^{2*}, Fangying Chai^{3#}, Hongxian Yu^{1#}, Wentao Dong¹, Tiantian Xu¹

¹College of Wildlife and Protected Area, Northeast Forestry University, Harbin Heilongjiang

²Aulin College, Northeast Forestry University, Harbin Heilongjiang

³Heilongjiang University of Science and Technology, Harbin Heilongjiang

*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 王云瑞, 柴一涵, 柴方营, 于洪贤, 董文涛, 徐甜甜. 西泉眼水库春季浮游动物群落结构及其与水环境因子相关性分析[J]. 环境保护前沿, 2021, 11(5): 1026-1033. DOI: 10.12677/aep.2021.115123

Abstract

To understand the community structure characteristics of zooplankton and its relationship with water environmental factors in spring in Xiquanyan Reservoir, a large-scale survey was conducted in the inland waters of the reservoir in May 2021, and a total of 18 sampling sites were set up. Zooplankton were collected and chemical factors were measured. In this study, dominant species, biodiversity index and RDA (redundancy analysis) were used to analyze zooplankton and aquatic environmental factors. The results show that a total of 24 species of zooplankton were identified, including 15 species of rotifers (70.83%), 7 species of protozoa (29.16%), 1 species of cladocornis and 1 species of copepods. The dominant species were *Sphaeroeca*, *Keratella cochlearis* and *Nauplii*. The average Shannon-Wiener Index is 1.04 and the average Pielou index is 0.73. The evaluation results show that the Xiquanyan reservoir is light-medium polluted in spring. The results of redundancy analysis showed that water temperature, TP, COD and PH were the main water environmental factors affecting the changes of zooplankton community.

Keywords

Xiquanyan Reservoir, Zooplankton, Water Environment Factor

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

西泉眼水库位于阿城市东南 84 公里处, 是黑龙江省最大的水库之一。水库作为哈尔滨市境外饮水的水源地早在阿什河流域规划和水库研究阶段就已经确定[1]。为保证哈尔滨市近千万居民的饮水安全, 各相关部门严格的水质监测就显得尤为重要[2]。自水库建成以来, 生态环境的改变、农药化肥的大量使用、旅游业的大规模发展使水库的水质受到很大的影响[3]。本文于 2021 年春季(5 月)调查研究了西泉眼水库浮游动物的群落结构特点, 运用了多种生态学方法评价了其水质, 并分析了浮游动物与环境因子之间的相关性, 能够为以后西泉眼水库水源治理提供一定的理论基础。

浮游动物在水生生物食物链中发挥着重要作用。浮游动物是位于食物链前端的消费者, 有的以浮游植物为食, 有的以细菌、碎屑为食, 而它们本身又是其他水生生物的食物, 特别是许多经济鱼类的饵料来源[4] [5] [6]。此外, 浮游动物特殊的随波逐流的生活方式适应于相应的水文因子, 也就是说, 它们的种属和数量变化总是与一定的水文状况相联系, 因此环境的影响所引起的季节变化和长期变化迫使浮游动物产生不同程度的响应[7] [8]。浮游动物个体小、生长周期短, 对水环境因子的变化敏感, 因此常作为水环境监测和评价的指标之一[9]。本文于 2021 年春季(5 月)进行水质监测和浮游动物采样, 分析其浮游动物群落结构及其与水环境因子的关系, 为西泉眼水库的健康管理提供一定的理论依据。

2. 材料与方法

2.1. 采样断面设置

西泉眼水库地理坐标为东经 127°16', 北纬 45°12'5"属丘陵型水库, 此次调查中本着沿水库均匀布点

的原则, 分别在河流入库口区、库中心区、出库口区设置采样断面, 并在每个断面的左中右均进行样品采集, 共设置了 18 个采样点如(图 1)。

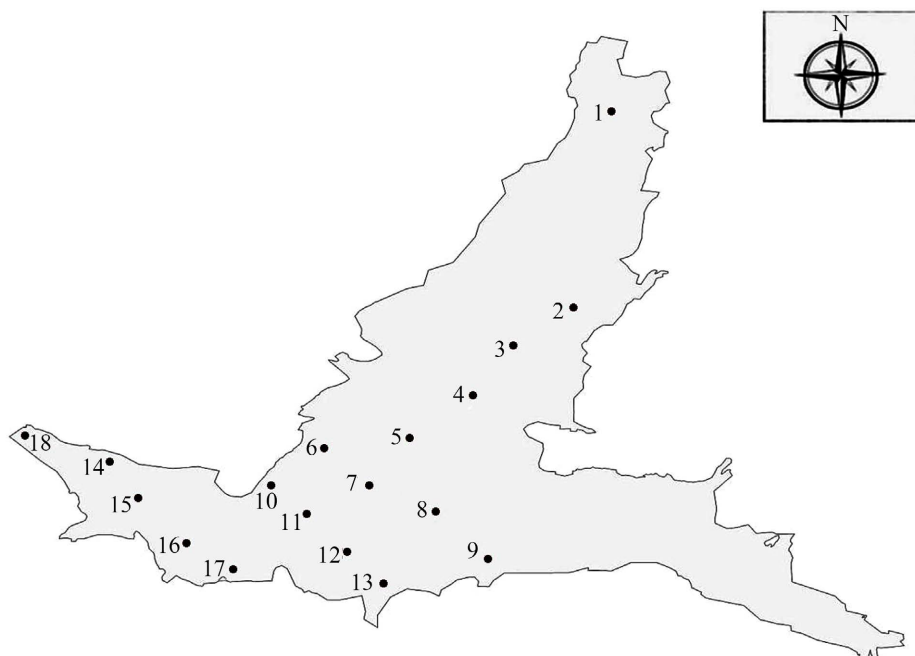


Figure 1. Location of the sampling sites in Xiquanyan reservoir

图 1. 西泉眼水库采样点分布图

2.2. 浮游动物样本采集与鉴定

浮游动物的定性样品原生动物、轮虫样品用 25 号浮游生物网, 枝角类和桡足类定性样品用 13 号浮游生物网, 采用 25#浮游生物网在水中横“∞”字形捞取 3 min。定量样品根据水体深浅程度来进行分层采样, 由于本次采样的水库水深大于 10 米, 采集时用 5 L 的有机玻璃采水器垂直方向采集表层、中层和底层的水样并将各层等量混合成一个水样, 之后用 13 号浮游生物网过滤浓缩, 将浓缩的水样收集于 100 ml 的标本瓶中, 立即加入 4% 体积的甲醛溶液进行固定。带回室内静置 48 h 后, 采用虹吸法除去上清液, 浓缩至 30 mL。原生动物定量取 0.1 mL 用浮游植物计数框在显微镜下全片计数, 轮虫定量取 1 mL 用浮游动物计数框在显微镜下全片计数, 枝角类和桡足类用浮游动物计数框在显微镜下观察计数。所采集的浮游动物样品依据文献[10] [11] [12] [13] [14]在显微镜下进行鉴定。按体积法来统计轮虫的生物量, 枝角类和桡足类生物量则分别按体长、体重回归方程式计算。

2.3. 水环境因子的测定

我们采用现场测定与实验室测定相结合的方法来对水环境因子进行测定, 在采集浮游动物样本的同时利用 YSI-6600 多功能水质分析仪对水温、PH、DO 和 CL^- 进行现场测定。其余理化指标需要采集 1 L 水样并 24 h 内带回实验室, 参考国家标准方法对总氮浓度(TN)、总磷浓度(TP)、化学需氧量(COD_{Cr})进行测定。

2.4. 数据分析和处理

采样分布图在 Arc Map10.5 上完成。根据浮游动物优势度指数(Y)、Shannon-Wiener 多样性指数(H')

Pielou 均匀度指数(J')对西泉眼水库春季浮游动物群落结构特征进行分析评价。浮游动物生物多样性指数的计算均在 Exce2010 中完成, 运用 SPSS16.0 进行相关性分析, 水环境数据(除 PH 外)和生物数据在分析前先进行 $\lg(x + 1)$ 转换, 使其趋于正态分布。采用 Canoco for windows 4.5 软件进行 DCA 分析, 得出 SD 值小于 3, 因此对物种数据和相关环境因子数据进行 RDA 分析。

3. 结果与分析

3.1. 西泉眼水库水环境因子

西泉眼水库春季各调查断面水体理化指标如表 1, 水温 $12.8^{\circ}\text{C}\sim 19.48^{\circ}\text{C}$, 平均值为 18.06°C , 变化趋势表现为库区内水温相差基本不大, 但在库区出水口水温与库区内水温相差较大; PH $5.05\sim 8.91$, 平均值为 6.90, 表现出水库的水体整体呈现出弱酸性; COD 为 $8\sim 19\text{ mg/L}$, 平均值为 13.94 mg/L , 根据评价标准基本上能达到饮用水的标准; TP 为 $0.06\sim 0.25\text{ mg/L}$, 平均值为 0.14 mg/L ; TN 为 $0.9\sim 3.1\text{ mg/L}$, 平均值为 1.67 mg/L ; TN 和 TP 在调查区域内并未发现规律性变化; DO 为 $6.60\sim 9.66\text{ mg/L}$, 平均值为 7.52。

Pearson 相关性分析结果显示水温与 DO 呈极显著负相关($r = -0.908, p = 0.000$), 水温与 PH 呈显著负相关($r = -0.573, p = 0.013$), 水温与 CL^- 呈显著负相关($r = -0.583, p = 0.011$)。

Table 1. The physic-chemical parameters in Xiquanyan reservoir

表 1. 西泉眼水库水体理化因子

采样点	水温	PH	CL^-	COD mg/l	TP mg/l	TN mg/l	DO mg/l
S1	17.28	7.76	7.499	15	0.12	2	8.20
S2	17.51	7.6	4.437	8	0.19	1.7	8.36
S3	18.94	7.44	3.662	10	0.13	1.2	7.37
S4	18.51	7.34	3.33	13	0.1	2.1	7.41
S5	18.21	7.38	3.968	15	0.18	3.1	7.44
S6	17.27	5.05	7.275	13	0.1	1.9	8.23
S7	18.96	5.71	9.957	12	0.09	1.7	6.96
S8	18.31	5.9	10.54	13	0.12	1.5	7.36
S9	19.34	6.19	0.006	13	0.1	1.7	7.96
S10	19.48	6.44	8.231	14	0.1	1.6	6.60
S11	18.68	6.6	7.896	16	0.22	2	7.33
S12	18.9	6.95	8.746	17	0.18	1.3	7.01
S13	18.08	6.91	6.898	15	0.06	2.7	6.91
S14	18.06	6.92	5.161	14	0.18	1.1	6.94
S15	18.51	6.9	5.724	18	0.07	1.3	7.41
S16	18.82	7.12	5.92	19	0.19	0.9	7.31
S17	18.28	7.13	5.902	15	0.25	1.2	6.92
S18	12.08	8.91	14.41	11	0.18	1	9.66
平均值	18.06	6.90	6.64	13.94	0.14	1.67	7.52

3.2. 浮游动物群落组成及结构特征

西泉眼水库春季共检测出浮游动物 24 种, 其中轮虫占最多为 15 种, 占整个浮游动物群落的 70.83%,

原生动物 7 种, 占整个浮游动物群落的 29.16%, 枝角类和桡足类此次调查中都只发现 1 种。浮游动物的优势种共三种(表 2)无节幼体出现的频率最高为 77.78%, 其优势度为(Y = 0.912)。

Table 2. The dominant species of zooplankton in Xiquanyan reservoir

表 2. 西泉眼水库浮游动物优势种

优势种名称 Dominant species name	拉丁名 The Latin name	出现频率 Occurrence frequency %	优势度指数 Dominance index (Y)
团球领鞭虫	<i>Sphaeroeca</i>	50%	0.220
螺形龟甲轮虫	<i>Keratella cochlearis</i>	66.67%	0.421
无节幼体	<i>Nauplii</i>	77.78%	0.913

3.3. 浮游动物群落健康评价

香农维纳指数法是很多学者在运用浮游动物的群落特征进行城市生态环境健康评价中最常用的方法之一[15][16][17]。此方法运用过程中, 香农维纳指数越高则意味着生活的水体稳定性越好, 水体健康状况比较好[18]。反之, 则表明水体稳定性和健康状况较差(表 3)。春季于西泉眼所采集的浮游动物群落的生物多样性指数(图 2)香农维纳指数变化范围为 0~1.97, 平均为 1.04, 均匀度指数变化范围为 0~1, 平均值为 0.73。仅从浮游动物的多样性指数看西泉眼水库春季水体呈中污染。

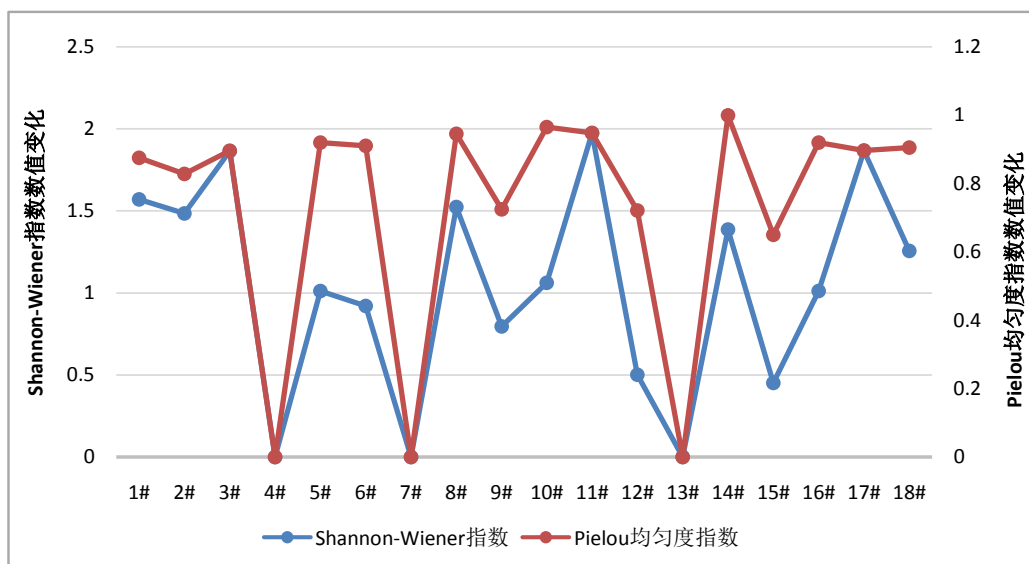


Figure 2. Changes of Shannon-Wiener index and Pielou index of zooplankton

图 2. 浮游动物 Shannon-Wiener 多样性指数、Pielou 均匀度指数变化

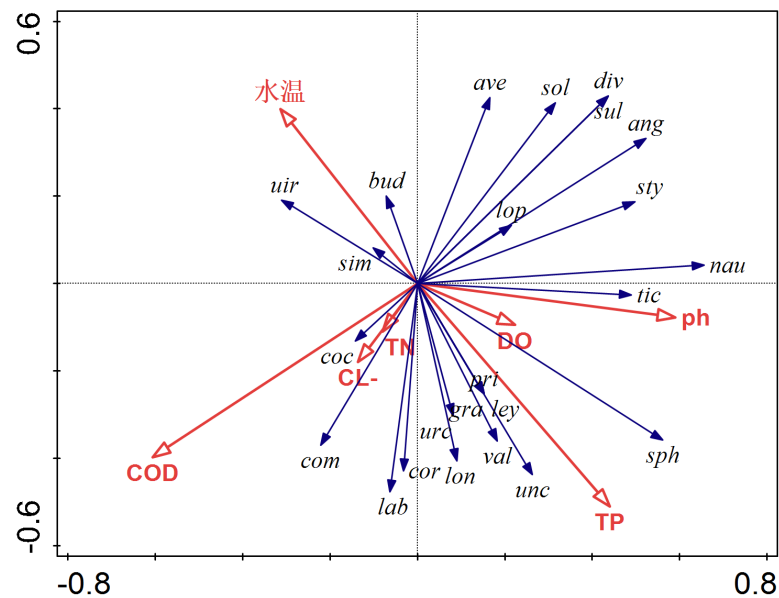
Table 3. Diversity index pollution degree index

表 3. 多样性指数污染程度指标

污染程度 Pollution level	多样性指数(H')	均匀度指数(J')
重污染 Heavy pollution	0~1	0~0.3
中污染 Medium pollution	1~2	0.3~0.5
轻污染 Light pollution	2~3	0.5~0.8
无污染 Non-pollution	>3	>0.8

3.4. 浮游动物群落结构与水环境因子间关系

RDA 排序是分析不同物种对环境的需求, 能很好的展现出生态环境对物种分布、组成的相互关系, 并可分析出不同浮游动物群落对环境的适应性, 以及理化因子的影响。由图 3 可以看出浮游动物群落的分布主要受 PH、TP、水温和 COD 等环境因子影响较大, 轴 1 与 PH、DO 和 TP 呈极显著正相关; 轴 2 与水温呈显著正相关, 与 TN, CL⁻和 COD 呈显著负相关。螺形龟甲轮虫、扁平泡轮虫、唇舌吻虫、间弧象鼻溞、长三肢轮虫、叉口砂壳虫、前结晶囊轮虫、矩形臂尾轮虫和曲腿龟甲轮虫在排序图中位置比较接近, 表明它们对生态环境的适应能力接近。根据 RDA 排序图, 春季调查的多数浮游动物与水温呈负相关关系。



注: sph.团球领鞭虫; ave.褐砂壳虫; gra.叉口砂壳虫; sim.简裸口虫; lab.唇舌吻虫; sol.太阳求吸管虫; uir.绿急游虫; lin.壶状臂尾轮虫; ley.矩形臂尾轮虫; unc.钩状狭甲轮虫; bud.浦达臂尾轮虫; lop.冠饰异尾轮虫; ang.角突臂尾轮虫; tic.缘板龟甲轮虫; coc.螺形龟甲轮虫; val.曲腿龟甲轮虫; sty.柱足腹尾轮虫; lon.长三肢轮虫; pri.前结晶囊轮虫; sul.沟痕泡轮虫; com.扁平泡轮虫; cor.间弧象鼻溞; nau.无节幼体。

Figure 3. Double diagram of RDA analysis between zooplankton community and aquatic environmental factors

图 3. 浮游动物群落与水环境因子间 RDA 分析双重图

4. 讨论

4.1. 非生物因素对浮游动物群落结构的影响

浮游动物在水生生物食物链中发挥着重要作用。浮游动物是位于食物链前端的消费者, 有的以浮游植物为食, 有的以细菌、碎屑为食, 而它们本身又是其他水生生物的食物, 特别是许多经济鱼类的饵料来源[19]。水库浮游动物群落结构的变化受生物和非生物环境因子的影响[20] [21]。西泉眼水库主要影响浮游动物群落结构的水环境因子为水温、TP、PH 和 COD。有研究表明, 温度是影响浮游动物生长发育、群落组成和季节变化的主要原因之一[22]。不同种类浮游动物的最适生长温度不同, 而适宜的温度可缩短发育时间, 春季水温开始升高, 促进了浮游动物休眠卵的发育, 从而影响浮游动物的群落结构[22]。水库

中小型浮游动物多数以浮游植物为食, 当水中营养盐(N、P)和有机物(COD)含量增加时, 通过直接作用于浮游植物从而间接对浮游动物群落结构的分布产生一定的影响[23]。淡水水体的浮游动物种类和数量也受 PH 的影响。

4.2. 生物因素对浮游动物群落结构的影响

浮游动物在水环境生态系统的物质循环和能量流动等生态过程中起着不可替代的作用[24] [25]。生物因素, 包括竞争、捕食和食物这些因素都能改变浮游动物的群落结构。作为水环境生态系统中生产者的浮游植物, 以及一些浮游食性的鱼类都是影响浮游动物种类和数量的重要因子[26]。从近些年来对西泉眼鱼类资源的调查报告中了解到水库中多数鱼类以浮游动物为食, 根据食物链和种间关系分析, 水库中大量鲢、鳙的存在会与竞争者竞争食物和氧气等资源, 同时也会在一定程度上增加浮游动物的牧食压力, 从而改变浮游动物的群落结构。浮游植物作为水体的初级生产者, 不但为浮游动物提供了天然饵料, 同样也是水体溶解氧的制造者, 浮游植物自身的密度和种群的变化会在食物链中引起一定种间及种内的竞争, 致使浮游动物群落结构的改变[27] [28] [29]。

基金项目

中央支持高水平人才项目《冷水鱼资源产业化可持续利用集成技术创新》, 项目编号 2020GSP14。
基金项目: 黑龙江省鲟鲤鱼资源保护与可持续利用技术研究(HLJSCXH2019003)。

参考文献

- [1] 迟晋峰, 刘玉黛, 迟晋旭. 哈尔滨市西泉眼水库水环境现状及水源保护对策[J]. 黑龙江水利科技, 2010, 38(1): 174-175.
- [2] 鞠永富, 于洪贤, 于婷, 柴方营, 姚允龙, 张延成, 费滕, 夏凌云. 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.
- [3] 李佳娟, 于洪贤, 刘曼红, 费滕. 西泉眼水库水源地 10 月大型底栖动物群落特征及其与环境因子的关系[J]. 东北林业大学学报, 2011, 39(11): 79-83.
- [4] 李钥. 贵州红枫水库和百花水库后生浮游动物群落时空变化特征及对水环境的指示作用[D]: [硕士学位论文]. 贵阳: 贵州师范大学, 2016.
- [5] 龚勋, 封圆圆, 赵海涛, 欧阳力剑, 林龙利. 倒天河水库和碧阳湖夏秋轮虫群落结构特征及水质评价[J]. 安徽农业科学, 2019, 47(12): 104-107.
- [6] 王汨, 杨柏贺, 马思琦, 徐宗学, 殷旭旺, 王博涵, 刘萌萌. 北运河水系夏季浮游动物群落结构特征及其与环境因子的关系[J]. 长江大学学报(自然科学版), 2021, 18(4): 121-126.
- [7] 王雪莹, 张新月, 雷阳, 董乾林, 卞少伟, 赵修青, 李翌. 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.
- [8] 程荣, 陈惠鑫, 亓畅, 侯锋, 曹效鑫, 郑祥, 曾凡刚, 李振华. 北运河流域沙河水库的浮游生物群落特征分析[J]. 环境科学学报, 2021, 41(1): 239-246.
- [9] 郭杰, 王珂, 段辛斌, 刘绍平, 陈大庆. 长江荆江段浮游生物群落结构特征及其与环境因子的关系[J]. 长江流域资源与环境, 2020, 29(9): 1954-1964.
- [10] 安睿, 王凤友, 于洪贤, 马成学. 三环泡湿地浮游动物功能群季节变化及其影响因子[J]. 生态学报, 2017, 37(6): 1851-1860.
- [11] 沈韞芬. 微型生物监测新技术[Z]. 湖北省, 中国科学院水生生物研究所, 2000-01-01.
- [12] 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.
- [13] 沈嘉瑞, 戴爱云, 宋大祥. 中国动物志-节肢动物门甲壳纲淡水桡足类[M]. 北京: 科学出版社, 1979.
- [14] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1997.
- [15] 陈佳琪, 赵坤, 曹玥, 吴波, 庞婉婷, 尤庆敏, 王全喜. 鄱阳湖浮游动物群落结构及其与环境因子的关系[J]. 生

- 态学报, 2020, 40(18): 6644-6658.
- [16] 许静波, 徐明, 刘军, 夏卫中, 李一平, 朱立琴. 射阳湖浮游动物群落结构特征及其与环境因子相关性研究[J]. 环境监测管理与技术, 2020, 32(2): 27-31.
- [17] 李共国, 李平, 徐杭英, 于海燕, 俞建. 浙江水源地河流浮游动物多样性与环境因子的通径分析[J]. 生物多样性, 2020, 28(2): 166-175.
- [18] 胡艺, 李秋华, 何应, 孟纯兰, 韩孟书. 贵州高原水库浮游动物分布特征及影响因子——以阿哈水库为例[J]. 中国环境科学, 2020, 40(1): 227-236.
- [19] 徐勇斌, 郭爱环, 贺文芳, 原居林, 李明. 小型水库浮游动物群落结构及其与环境因子的关系——以上荷塘水库为例[J]. 湖北农业科学, 2020, 59(10): 69-74.
- [20] 褚一凡, 赵闪闪, 李晨光, 靳同霞, 马剑敏. 陈桥东湖浮游生物群落结构特征及水质评价[J]. 长江科学院院报, 2019, 36(8): 23-29.
- [21] 张爱菊, 刘金殿, 杨元杰, 郭爱环, 顾志敏. 钱塘江桐庐渔业资源增殖放流区底栖动物群落结构特征分析[J]. 浙江农业学报, 2016, 28(8): 1323-1331.
- [22] 杜彩丽, 杨丽, 赵诣, 吴晓敏, 徐慕, 王丽卿, 张玮. 淀山湖浮游动物群落时空分布特征及其与环境因子的关系[J]. 环境科学, 2019, 40(10): 4513-4522.
- [23] 闵文武, 黄福江, 王伟. 赤水河秋季浮游动物群落结构及其与环境因子关系[J]. 安徽农业科学, 2021, 49(11): 75-79.
- [24] 王海邻, 刘玉飞, 任玉芬, 贺玉晓, 王思琪, 张红星, 王效科, 李紫鑫. 北京市河流秋季浮游动物群落特征分析[J]. 环境科学, 2019, 40(8): 3568-3576.
- [25] 周彦锋, 宋江腾, 刘凯, 尤洋. 怀洪新河浮游动物群落特征与水环境因子的关系研究[J]. 环境保护科学, 2017, 43(5): 92-98.
- [26] 李志伟, 崔力拓. 环境因子对唐山湾海域浮游动物群落结构的驱动作用[J]. 应用生态学报, 2017, 28(11): 3797-3804.
- [27] MariePier, H., Vincent, F., Beisner, B.E., da Costa Nafla, B., Barrett, R.D.H., Graham, B., Jesse, S.B., Viviane, Y., Gonzalez, A., Fussmann, G.F. (2021) Widespread Agrochemicals Differentially Affect Zooplankton Biomass and Community Structure. *Ecological Applications: A Publication of the Ecological Society of America*, **31**, e02423.
- [28] Labuce, A., Ikauniece, A., Jurgensone, I. and Aigars, J. (2021) Environmental Impacts on Zooplankton Functional Diversity in Brackish Semi-Enclosed Gulf. *Water*, **13**, 1881. <https://doi.org/10.3390/w13141881>
- [29] 郭飞飞, 张云, 赵广, 敖梦君, 雷杜娟, 熊邦喜, 马徐发. 金沙河水库浮游动物群落结构及其与环境因子的关系[J]. 生态学杂志, 2016, 35(8): 2208-2216.