

西泉眼水库春季浮游植物群落结构及其与水环境因子关系

董文涛^{1*}, 柴一涵^{1*}, 柴方营^{2#}, 于洪贤^{1#}, 王云瑞¹, 徐甜甜¹, 柴青宇¹, 王洪成², 王彤², 宋帅达³, 鞠永富⁴

¹东北林业大学, 黑龙江 哈尔滨

²黑龙江科技大学, 黑龙江 哈尔滨

³北京体育大学, 北京

⁴哈尔滨学院, 黑龙江 哈尔滨

收稿日期: 2021年9月24日; 录用日期: 2021年11月18日; 发布日期: 2021年11月29日

摘要

为了解西泉眼水库春季的水体浮游植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。本文中运用了优势种、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。结果共鉴定出浮游植物7门30种, 丰度波动在 $48 \times 10^4 \text{ ind./L} \sim 236.4 \times 10^4 \text{ ind./L}$ 之间; 生物量在 $0.91 \text{ mg/L} \sim 3.324 \text{ mg/L}$ 之间。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是影响浮游植物群落变化的主要水环境因子。

关键词

西泉眼水库, 浮游植物, 水环境因子

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

Wentao Dong^{1*}, Yihan Chai^{1*}, Fangying Chai^{2#}, Hongxian Yu^{1#}, Yunrui Wang¹, Tiantian Xu¹, Qingyu Chai¹, Hongcheng Wang², Tong Wang², Shuida Song³, Yongfu Ju⁴

*并列第一作者。

#并列通讯作者。

文章引用: 董文涛, 柴一涵, 柴方营, 于洪贤, 王云瑞, 徐甜甜, 柴青宇, 王洪成, 王彤, 宋帅达, 鞠永富. 西泉眼水库春季浮游植物群落结构及其与水环境因子关系[J]. 植物学研究, 2021, 10(6): 814-823. DOI: 10.12677/br.2021.106101

¹Northeast Forestry University, Harbin Heilongjiang

²Heilongjiang University of Science and Technology, Harbin Heilongjiang

³Beijing Sports University, Beijing

⁴Harbin University, Harbin Heilongjiang

Received: Sep. 24th, 2021; accepted: Nov. 18th, 2021; published: Nov. 29th, 2021

Abstract

In order to understand the characteristics of phytoplankton community structure in xiquanyan Reservoir in spring and its relationship with water environmental factors, a total of 18 sampling sites were set up in the reservoir in May 2021 by a large-scale fixed-point survey in inland waters. Zooplankton was collected and water physical and chemical factors were measured. In this paper, dominant species, biodiversity index, RDA (redundancy analysis) and other methods were used to analyze zooplankton and water environmental factors. A total of 30 species of phytoplankton from 7 phyla were identified, and their abundance ranged from 48×10^4 ind./L to 236.4×10^4 ind./L. The biomass ranged from 0.91 mg/L to 3.324 mg/L. 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 environmental factors affecting phytoplankton community change.

Keywords

Xiquanyan Reservoir, Phytoplankton, Water Factors

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

浮游植物是生态系统中的重要生产者, 有分布广泛, 繁殖世代短, 种群数量大的特点, 对自然界物质循环起着至关重要的作用。水体富营养化加速, 已成为制约我国社会经济可持续发展的限制性因素[1]。同时, 尽管大部分湖库已经严重富营养化并部分暴发蓝藻水华, 但有些仍然作为饮用水源地[2], 浮游植物的种群数量还可以间接反映出其所在水体的水质情况, 这对人们了解水质情况提供了生物方法[3]。

西泉眼水库是哈尔滨市的第二水源地[4], 了解水库水质及浮游生物情况对水源地保护有重要意义。本次在春季(5月)对西泉眼水库采 18 个样点进行研究, 用多种生态学研究方法对浮游植物与环境因子进行分析, 补充了西泉眼水库春季研究的空白。

2. 材料与方法

2.1. 样点概况

西泉眼水库(45°12'~45°20'N, 127°17'~127°25'E), 于 1992 年建成, 1996 年竣工, 大(II)型水库[5]。位于阿城区平山镇南部, 松花江南岸一级支流阿什河上游, 距哈市 112 km [6]。水库集水面积 1151 km², 水库总库容 4.78×10^8 m³, 正常蓄水位高程为 209.9 m [7]。水面 29.33 km², 平均水深 12 m, 属丘陵型水

库。库区岸线绵长曲折, 岸边丘陵树木茂盛, 水体水质清澈, 底质多为草甸土、腐殖土和黑钙土。西泉眼水库位置接近哈尔滨市, 气候属温带大陆性季风气候[8]。

2.2. 调查方法

2.2.1. 样点布设

根据西泉眼水库地理环境特点及水域特征, 共设置 18 个采样点(图 1)。其中水库设置四个截面 16 个采样点(2#~17#), 其余阿什河入水口(1#)和大坝下方(18#)各设置 1 个采样点。

2.2.2. 浮游动物样本采集与鉴定

定性样品用 25#浮游生物网于水面下 0.5 m 深度处采用“∞”形的方式捞取 3 min, 定量样品用 5 L 采水器分别取表层、中层、底层水样, 再进行充分混合[9]。用鲁哥试剂对水样中的浮游植物进行固定, 避光静置 48 h, 虹吸上层水样后再静置 24 h 后, 定容至 30 ml。鉴定时取样品置于 0.1 ml 浮游生物计数器内进行计数和鉴定[10]。

2.2.3. 水环境理化指标

用 YSI-6600 多功能水质分析仪对水温、PH、DO 和 CL^- 进行现场测定; 采用国家标准方法对总氮浓度(TN)、总磷浓度(TP)、化学需氧量(COD)进行测定[11]。

2.3. 数据处理

根据物种出现的频率和个体数量确定优势种, 用优势度表示:

$$y = f_i \times p_i$$

y 为优势度, f_i 为第 i 种出现的频率, p_i 为第 i 种个体数量在总个体数量的比例, 当 $y > 0.02$ 时定为优势种[12]。

采用 Shannon-Wiener 多样性指数(H')对浮游植物生物多样性进行分析。

采用典范对应分析(CCA)对西泉眼水库浮游植物群落与水环境因子进行相关分析。

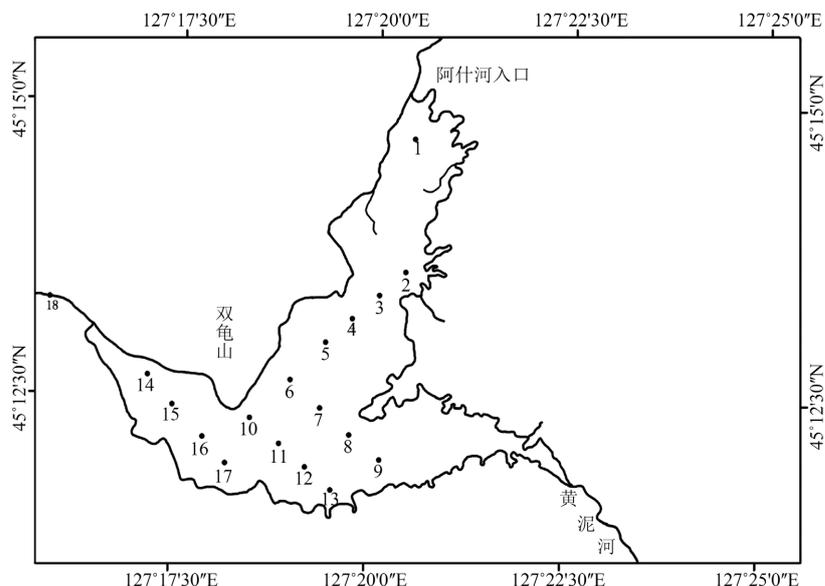


Figure 1. Phytoplankton sampling site in Xiquanyan Reservoir

图 1. 西泉眼水库浮游植物采样点

3. 结果与讨论

3.1. 水体理化参数

采样时, 水温在 12.8℃~19.48℃之间, 平均温度为 18.06℃, 大坝下游水温明显低于库区。PH 为 5.05~8.91, 平均值为 6.90, 可以看出水库的水体整体呈现出弱酸性; COD 为 8~19 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 0.06~0.25 mg/L, 平均值为 0.14 mg/L; TN 为 0.9~3.1 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 6.60~9.66 mg/L, 平均值为 7.52 mg/L。(表 1) 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 Xiquan yan

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
1#	17.28	7.76	7.499	15	0.12	2	8.20
2#	17.51	7.6	4.437	8	0.19	1.7	8.36
3#	18.94	7.44	3.662	10	0.13	1.2	7.37
4#	18.51	7.34	3.33	13	0.1	2.1	7.41
5#	18.21	7.38	3.968	15	0.18	3.1	7.44
6#	17.27	5.05	7.275	13	0.1	1.9	8.23
7#	18.96	5.71	9.957	12	0.09	1.7	6.96
8#	18.31	5.9	10.54	13	0.12	1.5	7.36
9#	19.34	6.19	0.006	13	0.1	1.7	7.96
10#	19.48	6.44	8.231	14	0.1	1.6	6.60
11#	18.68	6.6	7.896	16	0.22	2	7.33
12#	18.9	6.95	8.746	17	0.18	1.3	7.01
13#	18.08	6.91	6.898	15	0.06	2.7	6.91
14#	18.06	6.92	5.161	14	0.18	1.1	6.94
15#	18.51	6.9	5.724	18	0.07	1.3	7.41
16#	18.82	7.12	5.92	19	0.19	0.9	7.31
17#	18.28	7.13	5.902	15	0.25	1.2	6.92
18#	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. 浮游植物的种类组成

鉴定出浮游植物 7 门属 30 种, 其中绿藻门种数最多, 为 10 种, 占 33.33%; 硅藻门和蓝藻门次多, 各 7 种, 分别占 23.33%; 隐藻门和裸藻门各 2 种, 分别占 6.66%; 金藻门和甲藻门各 1 种, 分别占 3.33% (图 2)。

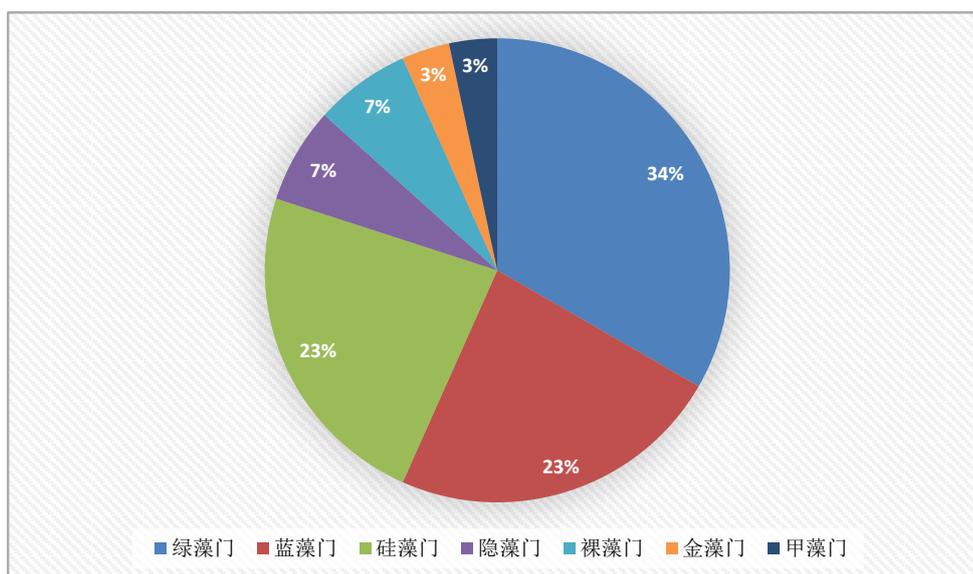


Figure 2. The composition of phytoplankton species in Xiquanyan Reservoir in spring (May)
图 2. 西泉眼水库春季(5月)浮游植物种类组成

3.3. 浮游植物的水平分布特征

西泉眼水库各个采样点的浮游植物物种分布显示,物种数量最多的是 12#样点和 17#样点,为 22 种;物种数量最少的是 1#样点,为 8 种。

纵观全部样点,1#、2#、18#样点的物种数较少,其他样点物种数较为丰富并且差异水平不大。1#、2#样点位于水库的阿什河入口处,并且位于水深较浅的区域,由于受到上游河流流入的影响,导致浮游植物不易累积聚集,所以种类较少且密度较小[13];18#样点位于大坝下游河流,河水是水库较深层水下流所形成的,水温明显低于其他样点,所以浮游植物种类数量明显小于库区所在水体[14]。前者浮游植物主要由金藻、隐藻构成,后者主要是硅藻。其他样点水温较为恒定,流动缓慢,藻类门类分布大多是绿藻、蓝藻和硅藻。

3.4. 浮游植物丰度与生物量水平分布

西泉眼水库春季浮游植物丰度与生物量各点之间存在差异(表 2)。丰度波动在 48×10^4 ind./L~ 236.4×10^4 ind./L 之间。最高值出现在 15#采样点,丰度为 236.4×10^4 ind./L,次高值出现在 12#采样点,丰度为 223.2×10^4 ind./L;最低值出现在 18#采样点,丰度为 48×10^4 ind./L。生物量在 0.91482 mg/L~3.324 mg/L 之间,最高值出现在 14#采样点,生物量为 3.324 mg/L,次高值出现在 12#采样点,为 2.9025 mg/L;最低值出现在 18#采样点,为 0.91482 mg/L。

从图 3 数据中可以看出 4#采样点到 17#采样点浮游植物丰度及生物量都维持在一个较高的趋势,此区域为水库中心区域,水深较深且水温相对较高,水流速缓慢,适宜浮游植物生存繁殖。

Table 2. Abundance and biomass of each sampling site in Xiquanyan Reservoir in spring
表 2. 西泉眼水库春季各采样点丰度及生物量

	丰度(* 10^4 ind./L)	生物量(mg/L)
1#	81.6	1.60404
2#	92.4	1.24518

Continued

3#	90	1.19196
4#	146.4	2.66982
5#	139.2	1.77096
6#	127.2	1.77462
7#	106.8	1.4415
8#	169.2	1.84308
9#	180	2.52144
10#	168	2.33616
11#	218.4	2.75232
12#	223.2	2.9052
13#	201.6	2.75256
14#	166.8	3.324
15#	236.4	2.78484
16#	210	1.9584
17#	153.6	2.47656
18#	48	0.91482

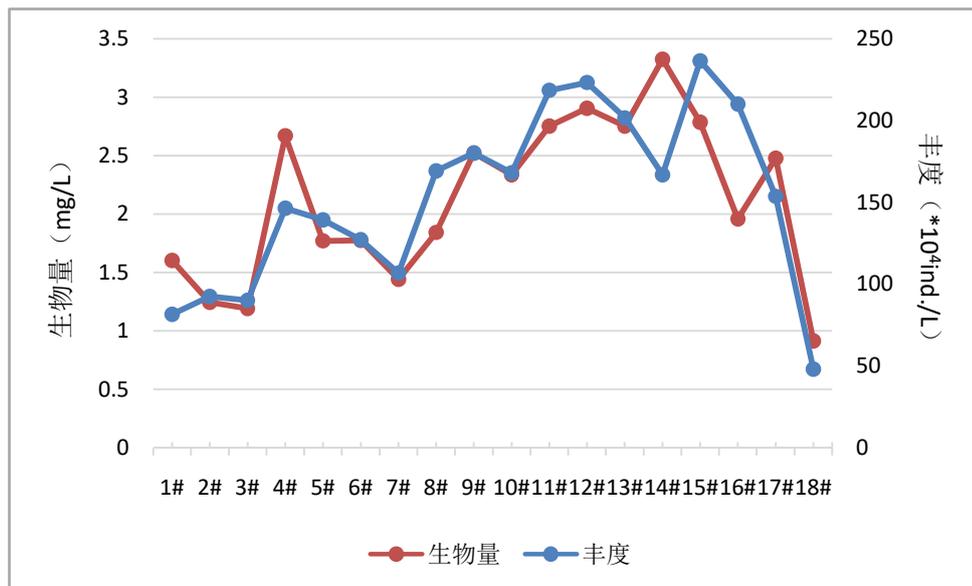


Figure 3. The horizontal distribution of phytoplankton abundance and biomass in Xiquanyan Reservoir

图 3. 西泉眼水库浮游植物丰度及生物量的水平分布

3.5. 浮游植物的优势种

根据公式计算, 当 $y > 0.02$ 时, 该种就是优势种。西泉眼水库春季浮游植物优势种及其优势度见表 3。

水质会对浮游植物群落分布产生影响, 一些藻类有污染指示功能。梅尼小环藻、栅藻、直链藻、衣藻可以指示富营养水体, 这些种类的藻类为优势物种说明该水体有一定程度的污染[15]。

3.6. 浮游植物群落健康评价

香农维纳指数法是很多学者在运用浮游生物的群落特征进行生态环境健康评价中最常用的方法之一[16]。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, 水体健康状态比较好。反之, 则表明水体稳定性和健康状况较差[17]。春季于西泉眼所采集的浮游动物群落的生物多样性指数香农维纳指数变化范围为 0~2.804, 平均为 1.90, 均匀度指数变化范围为 0~1, 平均值为 0.93。仅从浮游植物的多样性指数看西泉眼水库春季水体呈中污染。

3.7. 浮游植物群落与水环境因子

RDA 排序可以分析不同物种对环境的适应, 能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[18]。

由图 4 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, 藻类大多与水温呈负相关。其中阿氏席藻、被甲栅藻、变异直链藻、微芒藻、裸藻、梅尼小环藻、尖针杆藻在图中的位置相近, 表明它们对环境的要求比较接近。

Table 3. The dominant species of phytoplankton in Xiquanyan Reservoir in spring
表 3. 西泉眼水库春季浮游植物优势种

优势种	优势度
梅尼小环藻	3.7513
变异直链藻	0.1323
舟形藻	0.0203
短线脆杆藻	0.0580
尖针杆藻	2.2924
色球藻	0.0313
不定微囊藻	0.0447
阿氏席藻	0.0387
尖头藻	0.2090
裸藻	0.0313
衣藻	1.0861
镰形纤维藻	0.0368
狭形纤维藻	0.4470
二形栅藻	0.0534
被甲栅藻	0.0331
微芒藻	0.0426
金杯藻	1.0455
卵形隐藻	1.0155
嗜蚀隐藻	1.0455

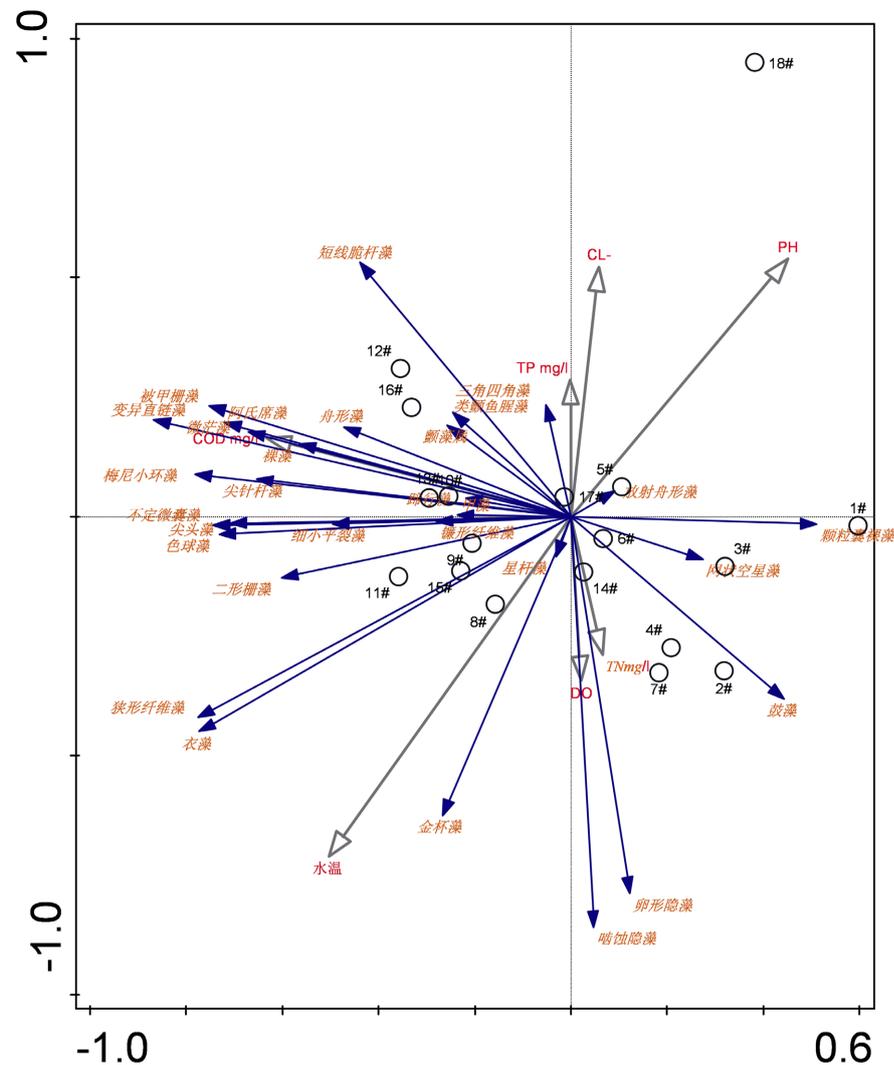


Figure 4. RDA analysis double diagram between phytoplankton community and water environmental factors

图 4. 浮游植物群落与水环境因子间 RDA 分析双重图

4. 讨论

4.1. 浮游植物种类组成

西泉眼水库是大型(II)水利枢纽工程, 为半天然半人工的水体[19], 近年来水环境质量日益恶化, 导致水体富营养化程度加剧。有研究表明, 水库库区多以绿藻门、硅藻门和蓝藻门为主[20]。西泉眼水库已有研究也表明, 库区浮游植物种类以绿藻门、蓝藻门和硅藻门为主。这次浮游植物的调查研究发现证实, 其浮游植物种类组成是以绿藻门、硅藻门和蓝藻门为主[21]。春季由于气温较低, 相比以往的研究浮游植物种类数量没有到达一个很高的水平, 但对于春季渔业活动提供了一定的数据基础, 有相当重要的意义。

4.2. 浮游植物丰度与生物量的变化

通过图 3 可以看出西泉眼水库春季浮游植物丰度与生物量呈现一个低 - 高 - 低的特点, 即入水口附近及出口处浮游植物相对较少, 库区的浮游植物丰度及生物量则相对较多。入口附近的 1#、2#、3#、4#

采样点受到上游阿什河的水补充, 与库区浮游植物种类数量组成都有较大的差别, 而且水深较浅, 浮游植物种类数量有限。出口的 18#采样点处的水是由水库大坝流出, 是水库的深层水, 水温低且浮游植物受到的光照较少, 所以浮游植物种类数量更是低于入水口附近[22]。

4.3. 浮游植物与环境因子

研究表明, 浮游植物受到环境因子的影响非常大, 浮游植物需要在一定的温度及光照强度下才能正常生长繁殖, 在温带及寒带地区, 水温通常都是限制浮游植物生长的主要环境因子[23]。西泉眼水库春季调查期间的平均水温为 18.06℃。通过 Smith 的研究表明, 当淡水湖泊中 TN/TP < 29 时, 蓝藻有急剧暴发水华的趋势; 而当 TN/TP > 29 时, 蓝、绿藻丰度就有减少的趋势[24]。西泉眼水库 TN/TP 为 11.9, 但由于温度较低, 库中绿藻及蓝藻并没有出现大面积暴发, 但可以为预测夏季浮游植物种群数量预测提供帮助。

5. 结论及建议

5.1. 结论

浮游植物物种数量最多为 12#和 17#采样点, 各 22 种, 最少为 1#的 8 种; 丰度最高为 15#采样点的 236.4×10^4 ind./L, 最少为 18#采样点的 48×10^4 ind./L; 生物量最高是 14#采样点的 3.324 mg/L, 最低值出现在 18#采样点, 为 0.91 mg/L。

5.2. 建议

西泉眼水库库区水体目前为中度富营养型, 为防止向高度富营养型发展, 建议水库管理部门精准掌握水库水质及浮游生物情况, 采取措施限制浮游植物大面积暴发可能导致的使水质污染, 积极保障哈尔滨市的饮水安全。

基金项目

中央支持地方高校发展高水平人才项目《冷水鱼资源产业化可持续利用集成技术创新》, 项目编号 2020GSP14; 黑龙江省经济社会发展重点研究课题《实施农业强省战略中黑龙江冷水鱼产业发展对策研究》, 课题编号 20309。

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] 张颖, 白羽军, 白昕, 等. 西泉眼水库富营养化状况及浮游藻类群落分析[J]. 哈尔滨商业大学学报: 自然科学版, 2007, 23(5): 523-525, 567.
- [5] 沈韞芬, 章宗涉, 龚循矩, 等. 微型生物监测新技术[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1990.
- [6] Jensen, J., Jeppesen, E., Olrik, K., et al. (1994) Impact of Nutrients and Physical Factors on the Shift from Cyanobacterial to Chlorophyte Dominance in Shallow Danish Lakes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **51**, 1692-1699. <https://doi.org/10.1139/f94-170>
- [7] 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.

- [8] 李秋华, 韩博平. 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, 2007, 27(6): 2355-2364.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] 褚一凡, 赵闪闪, 李杲光, 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.
- [18] 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.
- [19] 陈翠翠, 于洪贤, 姚允龙, 等. 西泉眼水库消落带水生植物群落及分布特点[J]. 东北林业大学学报, 2012, 40(1): 110-113.
- [20] 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.
- [21] 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.
- [22] 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.
- [23] 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.
- [24] Smith, V.H. (1983) Low Nitrogen to Phosphorus Ratios Favor Dominance by Blue-Green Algae in Lake Phytoplankton. *Science*, **221**, 669. <https://doi.org/10.1126/science.221.4611.669>