

# 哈尔滨松北国家湿地公园春季浮游植物功能群研究及水质健康评价

曹 钊<sup>1\*</sup>, 雷国康<sup>2\*</sup>, 陈方昕<sup>3</sup>, 柴一涵<sup>1</sup>, 杨晨浩<sup>1</sup>, 吴炳懿<sup>3</sup>, 叶纯子<sup>3</sup>, 于洪贤<sup>1#</sup>, 柴方营<sup>4#</sup>

<sup>1</sup>东北林业大学, 黑龙江 哈尔滨

<sup>2</sup>中石油昆仑气电有限公司, 黑龙江 大庆

<sup>3</sup>哈尔滨市林业和草原科研中心, 黑龙江 哈尔滨

<sup>4</sup>黑龙江科技大学, 黑龙江 哈尔滨

收稿日期: 2021年11月18日; 录用日期: 2022年1月4日; 发布日期: 2022年1月13日

## 摘 要

为了解松北国家湿地公园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月在松北国家湿地公园设置了8个采样点并进行浮游植物的采集以及水体理化因子的测定。结果共划分出19个功能群, 其中最重要的是Y功能群, 占比22.36%。通过Shanno-Weaver多样性指数和Pielou均匀度指数对松北国家湿地公园的水质进行评价, 多数处于轻污染或无污染状态。RDA分析结果显示TP、TN、pH和CODCr是对浮游植物影响最显著的环境理化因子。TP与优势功能群E等呈显著正相关, 与优势功能群X2等有较小相关性, 与优势功能群P、C、D、J等呈显著负相关; TN与优势功能群X2呈显著正相关; pH与优势功能群X1、J等呈显著正相关; CODCr与优势功能群J、C、D等呈显著正相关, 与优势功能群E等呈显著负相关。

## 关键词

浮游植物, 功能群, 松北国家湿地公园, 水质评价

# Study on Phytoplankton Functional Groups and Water Quality Evaluation in Harbin Songbei National Wetland Park in May

Zhao Cao<sup>1\*</sup>, Guokang Lei<sup>2\*</sup>, Fangxin Chen<sup>3</sup>, Yihan Chai<sup>1</sup>, Chenhao Yang<sup>1</sup>, Bingyi Wu<sup>3</sup>, Chunzi Ye<sup>3</sup>, Hongxian Yu<sup>1#</sup>, Fangying Chai<sup>4#</sup>

<sup>1</sup>Northeast Forestry University, Harbin Heilongjiang

<sup>2</sup>PetroChina Kunlun Gas and Electricity Co., Ltd., Daqing Heilongjiang

\*共同第一作者。

#共同通讯作者。

文章引用: 曹钊, 雷国康, 陈方昕, 柴一涵, 杨晨浩, 吴炳懿, 叶纯子, 于洪贤, 柴方营. 哈尔滨松北国家湿地公园春季浮游植物功能群研究及水质健康评价[J]. 植物学研究, 2022, 11(1): 46-54. DOI: 10.12677/br.2022.111007

<sup>3</sup>Harbin Forestry and Grassland Research Center, Harbin Heilongjiang

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

Received: Nov. 18<sup>th</sup>, 2021; accepted: Jan. 4<sup>th</sup>, 2022; published: Jan. 13<sup>th</sup>, 2022

## Abstract

The paper is proposed to order to understand the characteristics of phytoplankton community structure in Songbei National Wetland Park in spring and its relationship with water environment factors, and evaluate the water environment health system through phytoplankton diversity and other data. Eight sampling sites were set up in Songbei National Wetland Park in May 2021 to collect zooplankton and determine the physical and chemical factors of water body. The results showed that according to the community characteristics of plant functional groups, 19 functional groups were divided, of which Y functional group was the most important, accounting for 22.36%. The water quality of Songbei National Wetland Park is evaluated by Shanno-Weaver diversity index and Pielou evenness index. Most of them are in the state of light pollution or no pollution. The results of RDA analysis showed that TP, TN, pH and CODCr were the most significant environmental physical and chemical factors affecting phytoplankton. TP was significantly positively correlated with dominant functional group E, slightly correlated with dominant functional group X2, and significantly negatively correlated with dominant functional groups P, C, D, J; TN was positively correlated with dominant functional group X2; there was a significant positive correlation between pH pair and dominant functional groups X1 and J; CODCr was significantly positively correlated with dominant functional groups J, C and D, and negatively correlated with dominant functional group E.

## Keywords

Phytoplankton, Functional Group, Songbei Wetland, Water Quality Evaluation

Copyright © 2022 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

浮游植物是水生态系统中的初级生产者,是水生态系统能量流动和物质循环的重要组成部分。又因为浮游植物生长周期短且对环境敏感,因此其群落结构、优势种等信息可以用来直接反应水质情况。但由于浮游植物的影响因素较为复杂,原始的浮游植物分类方法不能很好地反应浮游植物的生境情况[1]。Reynolds 等[2]曾定义并运用浮游植物功能类群(FG)方法对浮游植物进行分类,而之后 Padisak [3]等再次对此进行完善。新的分类方法将具有相似生境的浮游植物归为一类,在这基础上根据其生理、形态和生态属性进行分类,因此通过浮游植物功能群的特征可以用来反应生境情况,并在水生态学与其相关领域具有良好的应用前景[4]。

## 2. 材料和方法

### 2.1. 采样点概况

松北国家湿地公园位于哈尔滨市西北部,松北区万宝镇化家村东,规划区北部与滨洲铁路线接界,南部与规划绥满高速相邻,东至王万铁路联络线,西部以化家村为界。于2019年通过国家湿地公园验收。

松北国家湿地公园总面积 127.47 公顷, 其中现有湿地总面积 55.51 公顷, 占湿地公园总面积的 43.55%, 分为湖泊湿地、沼泽湿地和人工湿地 3 个湿地类, 永久性淡水湖、草本沼泽、灌丛沼泽和库塘 4 个湿地类型。松北国家湿地公园的采样点如图 1 所示。



Figure 1. Sampling point diagram for water quality testing  
图 1. 水质检测采样点图

## 2.2. 采样与处理

浮游植物样品用适当型号采水器进行采集, 一般一次采取 1~2 升。水样采集之后, 需定性、定量分析的样品, 都应马上加固定液固定, 以免标本变质, 一般 1000 mL 水样加 15 mL 鲁哥液。定量样品经固定后, 还要进行浓缩并定容至 30 ml。浮游植物种类根据胡鸿钧、魏印心编著的《中国淡水藻类》进行鉴定。透明度(SD)采用塞氏盘测定; 总氮总磷(TNTP)、COD、BOD 等理化指标则根据《水和废水监测分析方法》测定; 水温(WT)、电导率(Cond)、浊度(NTU)、pH、 $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、叶绿素(Chla)、 $\text{Cl}^-$ 等理化指标使用 YSI-6600 多功能水质分析仪现场测定[5]。

## 2.3. 浮游植物功能群划分

如表 1 所示, 根据浮游植物的营养型及生存水体等, 将松北国家湿地公园内的浮游植物划分为 19 个功能群[6]。

Table 1. Classification of freshwater phytoplankton functional groups

表 1. 淡水浮游植物功能群分类

功能群	代表性种(属)	适宜生境
MP	舟形藻 <i>Navicula</i> spp.、双菱藻 <i>Surirella</i> spp.、 绿羽纹藻 <i>Pinnularia viridis</i> Her、桥弯藻 <i>Cymbella</i> spp.、 曲壳藻 <i>Achnanthes</i> spp.、卵形藻 <i>Cocconeis</i> spp.、 颤藻 <i>Oscillatoria</i> sp.	经常性搅动、浑浊、浅水
P	颗粒直链藻 <i>Melosira granulata</i> 、脆杆藻 <i>Fragilaria</i> spp.、 新月藻 <i>Closterium</i> spp.	中到富营养、持续或半持续混合水体
C	梅尼小环藻 <i>Cmeneghiniana firmosa</i> 、美丽星杆藻 <i>Asterionella formosa</i>	富营养、中小型水体
T <sub>B</sub>	变异直链藻 <i>Melosira varians</i>	较快流速水体

## Continued

D	针杆藻属 <i>Synedra</i> Ehrenberg	浅的浑浊水体, 对营养缺乏敏感
L <sub>0</sub>	色球藻属 <i>Chroococcus</i> Näg.、裂面藻属 <i>Merismopedia</i> .	贫到富营养型、中型到大型水体
M	微囊藻属 <i>Microcystis</i> Kütz.	稳定的中富营养水体, 高透明度
T <sub>c</sub>	席藻属 <i>Phormidium</i> spp.	富营养、净水或流速缓慢、具有挺水植物
HI	卷曲鱼腥藻 <i>Anabaena circinalis</i> 、束丝藻 <i>Aphanizomenon</i> sp.	分层、富营养型含氮量低的浅水水体
W1	裸藻 <i>Euglena</i> spp.	有机污染、浅水
W2	囊裸藻 <i>Trachelomonas</i> sp.	中营养、潜水水体
F	卵囊藻 <i>Oocystis</i> sp.	清澈、深度混合的中或富营养型水体
J	月牙藻 <i>Selenastrum</i> sp.、多芒藻 <i>Golenkinia</i> sp.、空星藻 <i>Coelastrum</i> sp.、栅藻 <i>Scenedesmus</i> sp.、四角藻 <i>Tetraedron</i> sp.、集星藻 <i>Actinastrum</i> sp.	高营养、混合、浅水
X1	普通小球藻 <i>Chlorella vulgaris</i> 、纤维藻 <i>Ankistrodesmus</i> spp.、弓形藻 <i>Schroederia</i> spp.	营养型到超富营养型的浅水水体
X2	衣藻 <i>Chamydomonas</i> sp.	中营养到富营养型的浅水水体, 对滤食作用敏感
N	鼓藻属 <i>Cosmarium</i> spp.	持续或半持续的混合水体
E	锥囊藻 <i>Dinobryon</i> sp.	贫营养或中营养型小型浅水水体
Y	隐藻 <i>Cryptomonas</i> sp.	中到富营养、净水环境, 放牧压力低
S <sub>N</sub>	尖头藻 <i>Raphidiopsis</i> sp.	温暖的混合水体

## 2.4. 数据处理

## 2.4.1. 浮游植物功能群分析

通过  $\log_{10}(x + 1)$  进行理化数据处理, 使之更趋于正态分布, 而后采用 Pearson 相关分析研究不同浮游植物功能群之间的相互作用。采用 Canoco for windows 4.5 软件对物种数据和相关环境因子数据进行 RDA 分析[7]。

## 2.4.2. 浮游植物多样性及水生态健康评价体系

本文采用 Shannon-Weaver 多样性指数和 Pielou 均匀度对水质状况进行评价。

Shannon-Weaver 多样性指数可被用来计算生物多样性[8]。

$$H' = -\sum_{i=1}^S P_i \log_2 P_i \quad (1)$$

在式(1)中  $S$  表示总物种数,  $P_i$  是第  $i$  个物种的个体数量占个体总数的比例。

Pielou 均匀度可以用来对水质状况进行评价。

Pielou 均匀度指数[9]

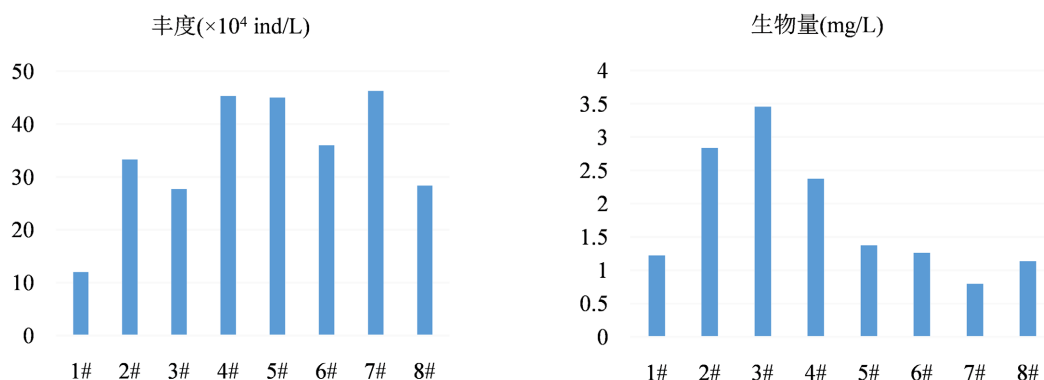
$$J = \log_2 N \quad (2)$$

在式(2)中,  $N$  表示所有物种的个体总数,  $P_i$  是第  $i$  个物种的个体数量占个体总数的比例, 多样性指数水质评价标准见表 2。

**Table 2.** Diversity index water quality evaluation standard  
**表 2.** 多样性指数水质评价标准

Index	Pollution index		
Shanno-Weaver 多样性指数( $H'$ )	0~1 Heavy	1~3 Medium	>3 light
Pielou 均匀度指数( $J$ )	0~0.3 Heavy	0.3~0.5 Medium	0.5~0.8 light

松北国家级自然保护区浮游植物的丰度和生物量在各采样点间存在差异(图 2)。5 月份丰度波动于  $12.0 \times 10^4$  ind./L~ $46.3 \times 10^4$  ind./L 之间, 最高为 7# 采样点, 为  $46.3 \times 10^4$  ind./L, 次高为 4# 采样点, 为  $45.5 \times 10^4$  ind./L, 最低为 1# 采样点, 为  $12.0 \times 10^4$  ind./L。5 月份生物量在 0.797 mg/L~3.454 mg/L 之间。最高为 3# 采样点, 为 3.454 mg/L, 次高为 2# 采样点, 为 2.836 mg/L, 最低为 7# 采样点, 为 0.797 mg/L。



**Figure 2.** Phytoplankton abundance and biomass in Songbei National Nature Reserve in spring  
**图 2.** 松北国家级自然保护区春季浮游植物丰度和生物量

### 2.4.3. 物种优势度评价

物种优势度则可以用以下公式进行计算[10]

$$y = f_i \times P_i \quad (3)$$

$y$  表示优势度,  $P_i$  是第  $i$  个物种在个体总数中的比例,  $f_i$  是每个采样时间的物种频率。当  $y > 0.02$  时, 即可认为是优势种。

## 3. 结果

### 3.1. 浮游植物种类组成

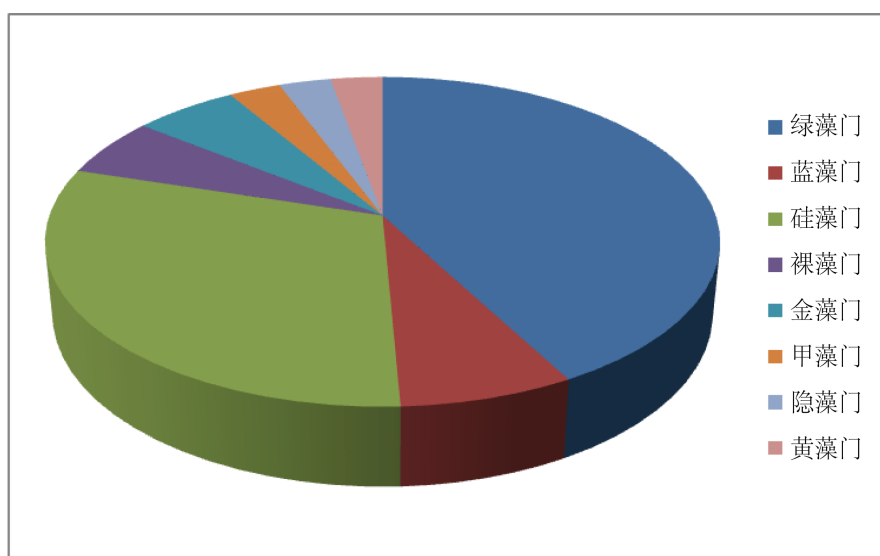
2021 年 5 月, 松北保护区浮游植物共计 8 门 69 种属。其中, 绿藻门的种类最多, 29 种属, 占 42%; 硅藻门次之, 21 种属, 占 30.4%; 蓝藻门 5 种属, 占 7%; 甲藻门 2 种属, 占 2.8%; 裸藻门 4 种属, 占 5.7%; 隐藻门 2 种属, 占 2.8%; 金藻门 4 种属, 占 5.7%; 黄藻门 2 种属, 占 2.8% (图 3)。

### 3.2. 浮游植物的优势种

根据浮游植物出现的频率和丰度, 以优势度  $y > 0.02$  为界来确定优势种, 松北保护区浮游植物优势种及其优势度见表 3。

2021 年 5 月, 松北保护区浮游植物的优势种类有绿藻门的球衣藻 *Chlamydomonas globosa*; 硅藻门的

库津小环藻 *Cyclotella kuetzingiana*、钝脆杆藻 *Fragilaria capucina*、尖针杆藻 *Synedra acusvar*、短小舟形藻 *Navicula exigua*; 隐藻门的卵形隐藻 *Cryptomons ovata*; 金藻门的分歧锥囊藻 *Dinobryon divergens*。



**Figure 3.** Phytoplankton species composition in Songbei National Nature Reserve in May  
**图 3.** 松北国家级自然保护区 5 月份浮游植物的种类组成

**Table 3.** Spring dominant species of phytoplankton in Songbei National Nature Reserve

**表 3.** 松北国家级自然保护区浮游植物春季优势种

优势种		丰度	频率	优势度
		$10^4$ ind./L	$f$	$y$
库津小环藻	<i>Cyclotella kuetzingiana</i>	65.7	0.753	0.055737
钝脆杆藻	<i>Fragilaria capucina</i>	67.9	0.857	0.065482
尖针杆藻	<i>Synedra acusvar</i>	43.5	0.567	0.052719
短小舟形藻	<i>Navicula exigua</i>	31.1	0.315	0.023085
球衣藻	<i>Chlamydomonasglobosa</i>	32.3	0.651	0.056351
卵形隐藻	<i>Cryptomons ovata</i>	23.7	0.412	0.037675
分歧锥囊藻	<i>Dinobryon divergens</i>	17.1	0.279	0.027399

### 3.3. 松北国家级自然保护区春季浮游植物功能群分类

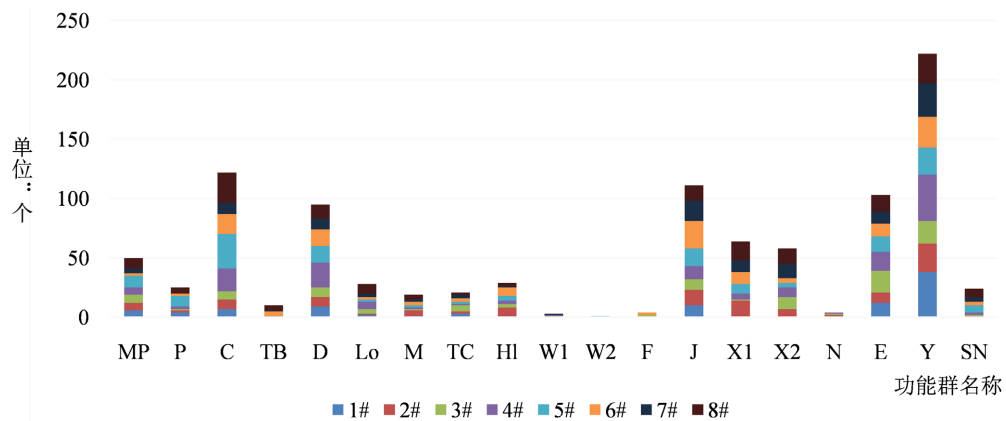
在松北国家级自然保护区 8 个采样点中, 共鉴定出 55 种浮游植物。共划分为 19 个功能群, 由图 4 可知, 松北国家自然保护区春季浮游植物功能群中, Y 功能群占显著优势。

### 3.4. 浮游植物多样性指数及水质评价

松北国家浮游植物多样性指数见图 5。5 月份 Shannon-Weaver 指数波动于 1.87~3.53 之间, 最高为 8# 采样点, 为 3.53, 次高为 3# 采样点, 为 3.34, 最低为 5# 采样点, 为 1.87; Pielou 均匀度指数全年在

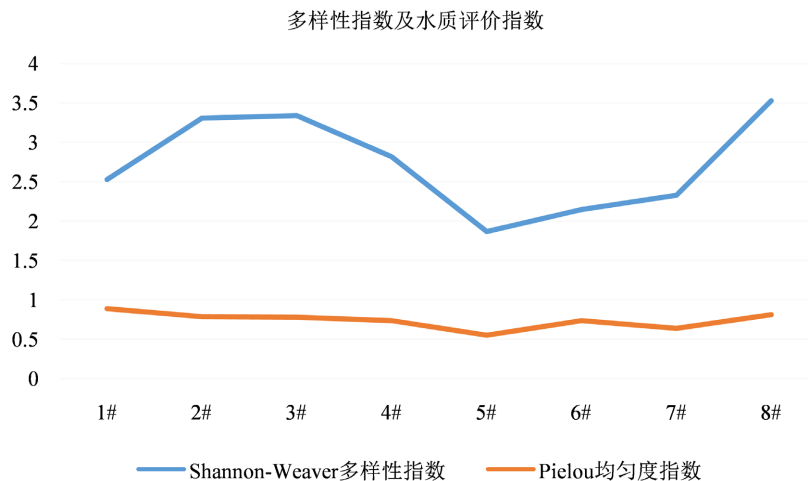
0.553~0.891 之间, 以 1# 采样点最高, 为 0.891, 其次是 8#, 为 0.813, 最低为 5# 采样点, 为 0.553。

通过浮游植物多样性指数评价结果来看, Shannon-Weaver 指数评价结果春季除 1#、5#、6#、7#、采样点为中污, 其他各点均为轻污或无污; Pielou 均匀度指数评价结果为, 春季除 5# 采样点为中污, 其他各点均为轻污或无污。



**Figure 4.** The biomass level distribution of phytoplankton functional groups in Songbei National Nature Reserve

**图 4.** 松北国家自然保护区浮游植物功能群生物量水平分布

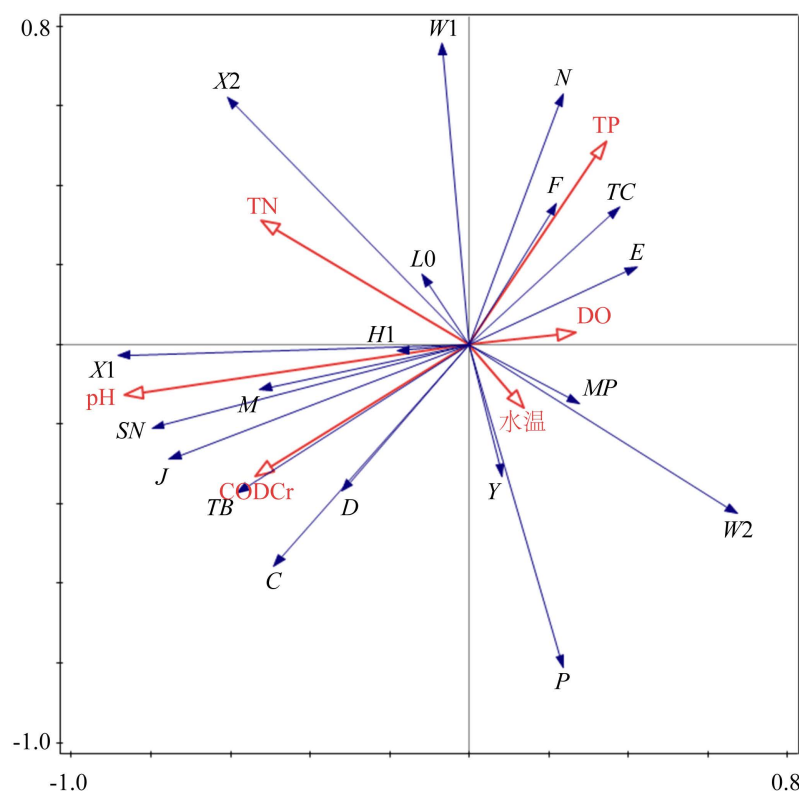


**Figure 5.** Phytoplankton diversity and water quality evaluation

**图 5.** 浮游植物多样性及水质评价

### 3.5. RDA 分析结果

RDA 结果如图 6 所示。如表 4 所示, 物种数据的累积变化率的 53.28% 在轴 1 和轴 2 中可以被解释。说明除了环境因子之外, 还有例如浮游动物功能群同样也是浮游植物功能群分布的影响因素[11]。如图可知 TP、TN、pH 和 CODcr 是对浮游植物影响最显著的环境因子。TP 与优势功能群 E 等呈显著正相关, 与优势功能群 X2 等有较小相关性, 与优势功能群 P、C、D、J 等呈显著负相关; TN 与优势功能群 X2 呈显著正相关; pH 对与优势功能群 X1、J 等呈显著正相关; CODcr 与优势功能群 J、C、D 等呈显著正相关, 与优势功能群 E 等呈显著负相关。



注: 若功能群变量为向量, 由(0,0)开始, 向量的方向表示该功能群丰度增加的方向若环境因子为向量, 数据长度表示功能群的分布于该环境因子相关性的大小

**Figure 6.** RDA double analysis diagram of phytoplankton functional groups and environmental factors

**图 6.** 浮游植物功能群与环境因子 RDA 双重分析图

**Table 4.** Result of RDA analysis of phytoplankton functional group

**表 4.** 浮游植物功能群 RDA 分析结果

轴序	特征值	种类 - 环境相关性	物种数据累积变化百分率/%	物种 - 环境相关性累积变化百分率/%
Axes	Eigenvalues	Species-environment correlations	Cumulative percentage variance of species data	Cumulative percentage variance of species-environment relation
1	0.3416	0.9039	34.16	40.73
2	0.1911	0.9878	53.28	63.52
3	0.1244	0.9989	65.72	78.36
4	0.104	0.9955	76.12	90.75

#### 4. 结论

通过我们的调查研究, 春季哈尔滨松北国家湿地公园中浮游植物的功能群主要以 Y 功能群中的绿藻门为主, 硅藻门次之, 在春季由于气温和水温均处于较低水平, 水体中的藻类主要以耐低温种类为主[12]。根据数据显示 TP、TN、pH 和 CODcr 是对浮游植物影响最显著的环境因子。物种数据的累积变化率显示除了环境因子之外, 还有例如浮游动物功能群等因素同样也是浮游植物功能群分布的影响因素。根据水



质多样性指数分析结果, 应及时对 1#、5#、6#、和 7# 采样点加强监测, 及时掌握其动态变化, 其余采样点应加强其管理预防水体进一步恶化, 哈尔滨松北湿地公园不同地区的水质呈现多样性, 因此根据不同地区的特殊条件, 基于不同的水文、水动力条件采取更有针对性的治理与防治污染及水华措施是十分有必要的。

## 参考文献

- [1] 张俊芳, 胡晓红, 马沛明, 陈威, 胡菊香. 汤浦水库浮游植物功能群季节演替及关键驱动因子[J]. 水生态学杂志, 2021, 42(3): 55-62.
- [2] Reynolds, C.S., Huszar, V., Kruk, C., *et al.* (2002) Towards a Functional Classification of the Freshwater Phytoplankton. *Journal of Plankton Research*, **24**, 417-428. <https://doi.org/10.1093/plankt/24.5.417>
- [3] Padišak, J., Crossetti, L.O. and Naselli-Flores, L. (2009) Use and Misuse in the Application of the Phytoplankton Functional Classification: A Critical View with Updates. *Hydrobiologia*, **621**, 1-19. <https://doi.org/10.1007/s10750-008-9645-0>
- [4] 陈倩, 吴琼, 罗欢. 太湖水库蓄水前后浮游植物群落结构特征[J]. 生态科学, 2020, 39(6): 75-82.
- [5] 潘海峰. 三江自然保护区浮游生物功能群研究[D]: [硕士学位论文]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2019.
- [6] Leonilde, R., *et al.* (2017) Individual Trait Variation in Phytoplankton Communities across Multiple Spatial Scales. *Journal of Plankton Research*, **39**, 577-588. <https://doi.org/10.1093/plankt/fbx001>
- [7] Xiao, L.J., Wang, T., Hu, R., Han, B.P., Wang, S., Qian, X. and Padišak, J. (2011) Succession of Phytoplankton Functional Groups Regulated by Monsoonal Hydrology in a Large Canyon-Shaped Reservoir. *Water Research*, **45**, 5099-5109. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.07.012>
- [8] Shannon, C.E. and Weiner, W. (1949) *The Mathematical Theory of Communication*. University of Illinois Press, Urbana.
- [9] Ludwig, J.A. and Reynolds, J.F. (1988) *Statistical Ecology*. John Wiley & Sons, New York.
- [10] Pianka, E.R. (1971) Ecology of the Agamid Lizard *Amphibolurus isolepis* in Western Australia. *Copeia*, **1971**, 527-536. <https://doi.org/10.2307/1442450>
- [11] 陈倩颖, 吴利. 巢湖浮游动物功能群和浮游植物的相互关系[J]. 安徽理工大学学报(自然科学版), 2021, 41(4): 42-50.
- [12] 郭沛涌, 林育真, 李玉仙. 东平湖浮游植物与水质评价[J]. 海洋湖沼通报, 1997(4): 37-42.