

# 天津市重点河湖浮游植物群落结构调查研究

鲍炜然<sup>1</sup>, 郑心怡<sup>2</sup>, 宋兵魁<sup>2</sup>, 孙金辉<sup>1\*</sup>, 刘玉<sup>1</sup>

<sup>1</sup>天津农学院水产学院, 天津

<sup>2</sup>天津市生态环境科学研究院, 天津

收稿日期: 2026年5月11日; 录用日期: 2026年6月3日; 发布日期: 2026年6月15日

## 摘要

浮游植物多样性可以有效地指示水生态系统健康状况。本研究旨在调查天津市重点河湖的浮游植物群落组成, 分析其生物多样性和群落结构, 以评估水环境质量和水生态系统的健康状况。本研究基于2021年6~7月、9~10月对天津市重点24条河流及2座水库, 共设置62个采样点, 采集浮游植物样本进行鉴定和群落调查分析。运用Shannon-Wiener多样性指数( $H'$ )、Pielou均匀性指数( $J$ )、Margalef丰富度指数( $D$ )等生物指标, 结合物种组成、密度及优势种分析, 揭示了天津重点河湖浮游植物的时空分布特征。永定新河、独流减河等水系生态状况相对较好, 蓟运河、南四河需重点关注富营养化风险。研究验证了浮游植物多样性指数与理化指标联用的有效性, 为北方城市水生态管理提供了科学依据。

## 关键词

天津, 浮游植物, 生物多样性, 群落结构

# Investigation on Community Structure of Phytoplankton in Key Rivers and Lakes in Tianjin

Weiran Bao<sup>1</sup>, Xinyi Zheng<sup>2</sup>, Bingkui Song<sup>2</sup>, Jinhui Sun<sup>1\*</sup>, Yu Liu<sup>1</sup>

<sup>1</sup>College of Fisheries, Tianjin Agricultural University, Tianjin

<sup>2</sup>Tianjin Academy of Environmental Sciences, Tianjin

Received: May 11, 2026; accepted: June 3, 2026; published: June 15, 2026

## Abstract

Phytoplankton diversity serves as an effective indicator of the health of aquatic ecosystems. This

\*通讯作者。

文章引用: 鲍炜然, 郑心怡, 宋兵魁, 孙金辉, 刘玉. 天津市重点河湖浮游植物群落结构调查研究[J]. 水产研究, 2026, 13(2): 150-165. DOI: 10.12677/ojfr.2026.132018

study aims to investigate the composition of phytoplankton communities in key rivers and lakes in Tianjin, analyze their biodiversity and community structure, and assess the quality of the aquatic environment and the health of aquatic ecosystems. This study was conducted in June-July and September-October 2021, with a total of 62 sampling sites established along 24 key rivers and at 2 reservoirs in Tianjin to collect phytoplankton samples for identification and community analysis. Using biological indices such as the Shannon-Wiener diversity index ( $H'$ ), Pielou evenness index ( $J$ ), and Margalef richness index ( $D$ ), and combining these with analyses of species composition, density, and dominant species, this study reveals the spatiotemporal distribution characteristics of phytoplankton in key rivers and lakes in Tianjin. The ecological conditions of water systems such as the Yongding New River and the Duliu Diversion River are relatively good, while the Jiyun River and the South Fourth River require close monitoring for the risk of eutrophication. The study validated the effectiveness of combining phytoplankton diversity indices with physicochemical indicators, providing a scientific basis for water ecosystem management in northern cities.

## Keywords

Tianjin, Phytoplankton, Biodiversity, Community Structure

Copyright © 2026 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

浮游植物是指在淡水或海洋中自由漂浮、能够进行光合作用的微小藻类，包括原核和真核生物[1]。浮游植物是水生态系统初级生产力的重要组成部分，具有繁殖速度快、生态转换效率高、对环境变化敏感的特性，并能通过食物网上行效应影响高营养级生物的群落结构[2] [3]。浮游植物种类丰富、体积小、生长周期短，其群落组成和多样性对环境因子，如温度、光照和营养盐的变化响应敏感且迅速[4]-[6]。浮游植物多样性可以有效地指示水生态系统健康状况，研究表明浮游植物多样性的增加能反映出水体水质的改善[7]。

天津市位于华北平原，东临渤海，北依燕山，西靠首都；位于海河流域下游，是海河五大支流南运河、子牙河、大清河、永定河、北运河的汇合处和入海口，素有“九河下梢”“河海要冲”之称；背靠华北、西北、东北地区，经济腹地辽阔，是中国北方十几个省区市对外交往的重要通道，也是中国北方最大的港口城市[8]。天津重点河流的浮游植物调查评估不仅有助于了解区域水体生态系统的健康状况，也为水环境管理和保护提供了科学依据。通过综合运用多种分析方法和指标体系，可以更全面地揭示浮游植物与环境因子之间的关系，从而为水体富营养化评估和生态修复提供支持。

## 2. 材料与方法

### 2.1. 调查时间及调查点位设置

本次调查分别于 2021 年 6~7 月、9~10 月完成两个季度的采样。选取海河流域天津段重点河湖作为调查范围，包括我市 8 条国控入海河流及其主要支流、大运河在我市境内流经的北运河、南运河，以及主要水库及其汇入河流，共计 24 条河流、2 个水库。共设置采样点 62 个。采样点位如图 1 所示。

### 2.2. 浮游植物样品采集与鉴定

酸碱度(pH)和溶解氧采用仪器现场测定，水质样品的采样、分装、固定参照《地表水和污水监测技术

规范》[9]。浮游植物采样工具主要为有机玻璃采水器和 25 号浮游生物网，定性样品用 25 号浮游生物网(网孔直径 0.064 mm)在水体下 0.5 m 处“∞”字形拖取 3~5 min；定量样品用有机玻璃采水器在水体下 0.5 m 处，采取 1 L 水样。采集后的定性和定量的样品用鲁哥氏液进行固定及保存。在显微镜下进行浮游植物种类鉴定和个体计数，参照《中国淡水藻类：系统、分类及生态》[10]对浮游植物进行鉴定。标准化计算参照《水和废水监测分析方法》(第四版)(增补版)[11]。

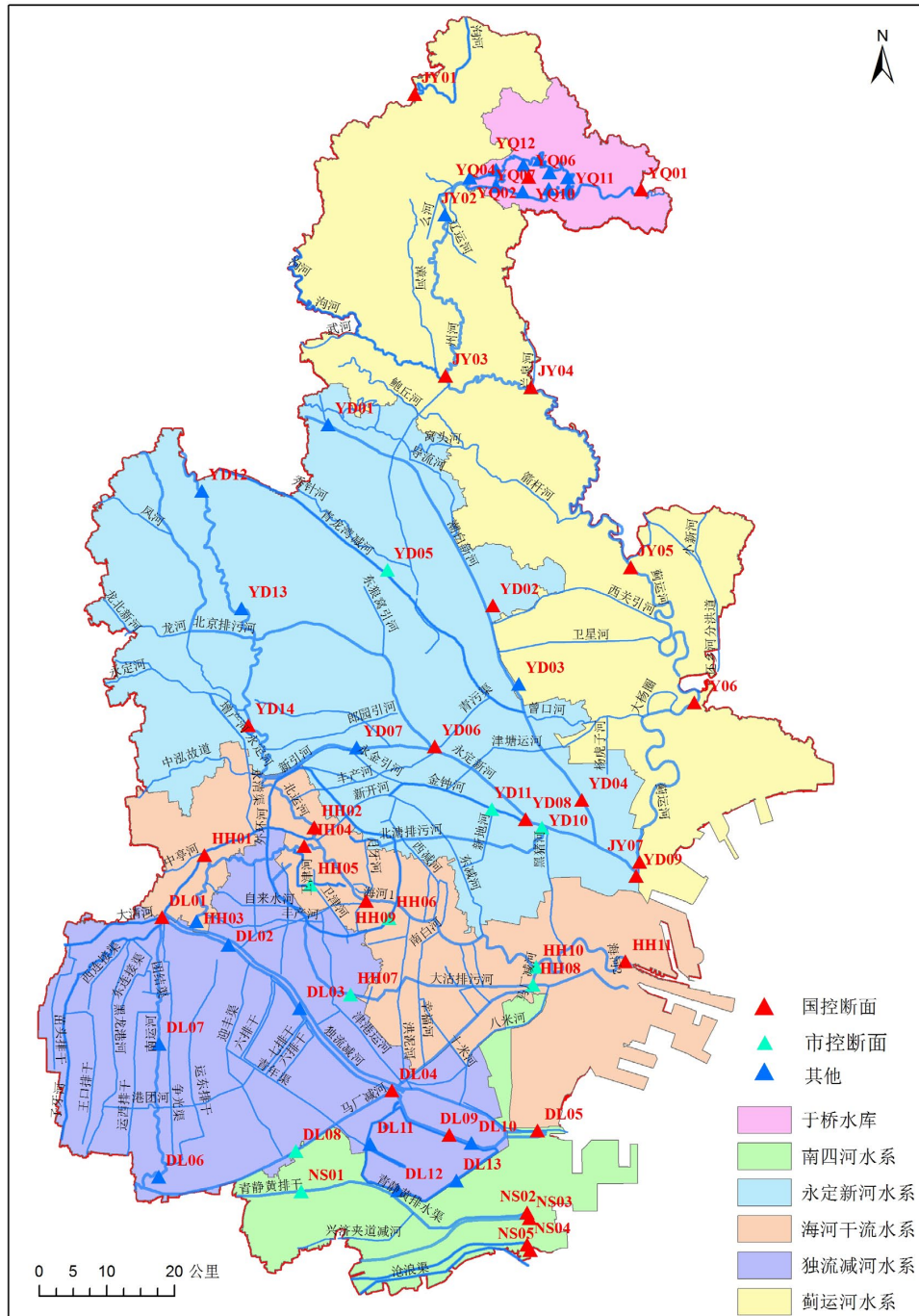


Figure 1. Distribution diagram of phytoplankton survey stations  
图 1. 浮游植物调查站位的分布示意图

### 2.3. 数据处理

计算不同浮游植物多样性指数,包括浮游植物优势度指数( $Y$ )、Shannon-Wiener 多样性指数( $H'$ )、Pielou 均匀性指数( $J$ )、Margalef 丰富度指数( $D$ )对浮游植物的群落特征进行分析,见式(1)~(4),计算方法参照相关文献[12]-[14]。

优势度指数( $Y$ )按下式计算:

$$Y = (N_i/N) \times f_i \quad (1)$$

式中:  $Y$  为优势度,  $N_i$  为第  $i$  种的个体数,  $N$  为样品中所有个体总数,  $f_i$  为第  $i$  种在各采样位点出现的频率,  $Y \geq 0.02$  为优势种。

Shannon-Wiener 多样性指数( $H'$ )按下式计算:

$$H' = -\sum (N_i/N) \log_2 (N_i/N) \quad (2)$$

Pielou 均匀度指数( $J$ )按下式计算:

$$J = H' / \log_2 S \quad (3)$$

式中:  $H'$ —多样性指数;  $S$ —总种类数。

Margalef 丰富度指数( $D$ )按下式计算:

$$D = (S-1) / \log_2 N \quad (4)$$

式中:  $S$ —调查生物的种类数;  $N$ —全部生物个体总数。

## 3. 结果与分析

### 3.1. 浮游植物物种丰富度

河流部分两期调查共采集到浮游植物 7 门 54 种,其中绿藻门 19 种,硅藻门 14 种,蓝藻门 11 种,甲藻门 4 种,裸藻门 4 种,黄藻门 1 种,隐藻门 1 种。水库部分两期调查共采集到浮游植物 8 门 240 种;其中绿藻门 80 种,硅藻门 76 种,蓝藻门 45 种,裸藻门 23 种,甲藻门 7 种,隐藻门 4 种,黄藻门 3 种,金藻门 2 种。

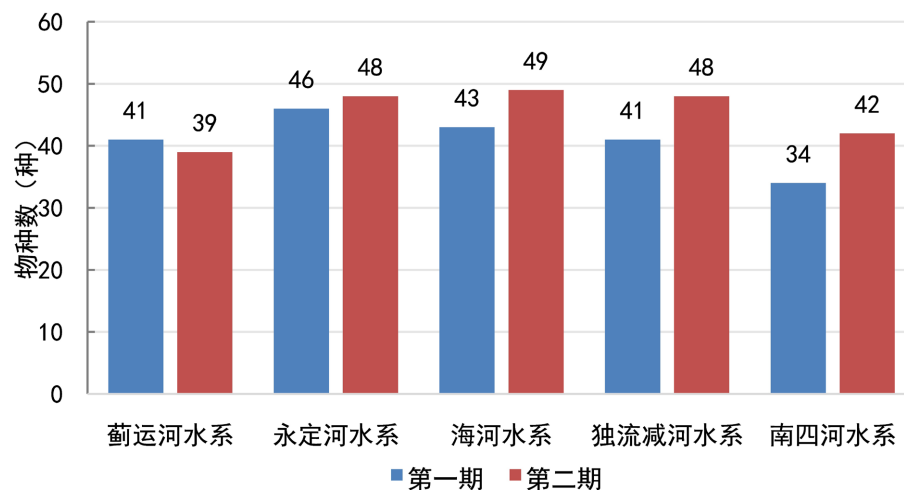


Figure 2. Spatial characteristics of species richness in various river systems  
图 2. 河流各水系物种丰富度空间特征

河流部分浮游植物物种丰富度按水系排列的空间特征如图 2 所示。结果显示,物种丰富度最大的是永定新河水系与独流减河水系,两期共调查到浮游植物 52 种。永定新河水系第一期 46 种,第二期 48 种;独流减河水系第一期 41 种,第二期 48 种。物种丰富度最小的是蓟运河水系,两期共调查到浮游植物 46 种,其中第一期 41 种,第二期 39 种。

河流浮游植物物种丰富度百分组成结果见图 3。第一期绿藻门在蓟运河水系占比最大,最大值为 39%,硅藻门在南四河水系占比最大,最大值为 26%,蓝藻门在独流减河水系占比最大,最大值为 24%;第二期绿藻门在海河水系占比最大,最大值为 39%,硅藻门在南四河水系占比最大,最大值为 29%,蓝藻门在南四河水系占比最大,最大值为 26%。黄藻门只出现在海河水系和独流减河水系。

水库部分浮游植物物种丰富度结果见图 4。物种丰富度较大的是于桥水库,两期共调查到浮游植物 8 门 197 种。其中第一期 162 种,以绿藻门为主,占物种总数的 39.51%;第二期 105 种,也以绿藻门为主,占物种总数的 34.29%。物种丰富度较小的是北大港水库,两期共调查到浮游植物 7 门 115 种。其中第一期 51 种,以硅藻门为主,占物种总数的 39.22%;第二期 96 种,也以硅藻门为主,占物种总数的 43.75%。

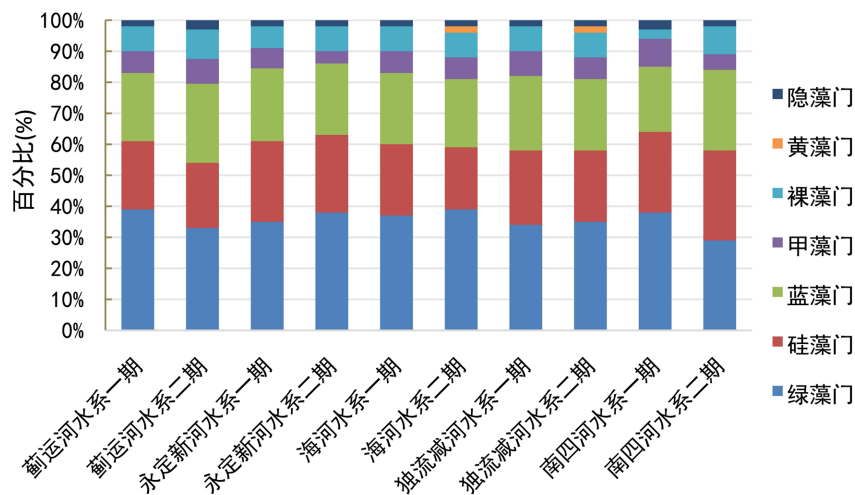


Figure 3. Percentage composition of phytoplankton species richness in rivers  
图 3. 河流浮游植物物种丰富度百分组成

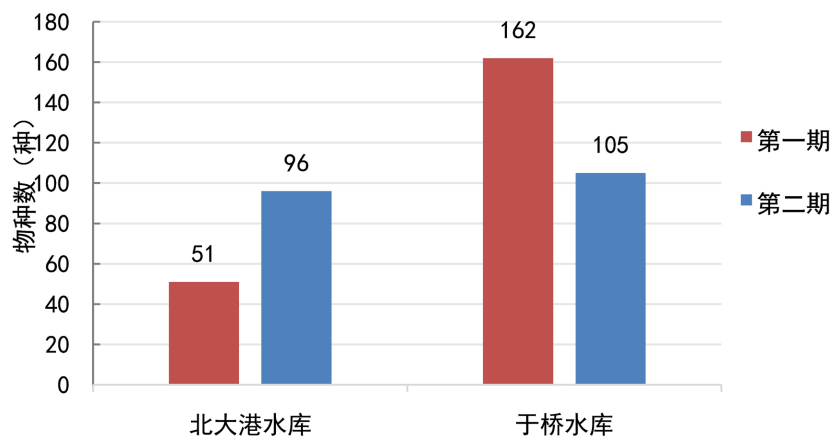


Figure 4. The richness of phytoplankton species in the reservoir  
图 4. 水库部分浮游植物物种丰富度

水库浮游植物物种丰富度百分组成如图 5 所示。第一期绿藻门在于桥水库的占比最大，为 39.51%；硅藻门在北大港水库的占比最大，为 39.22%；蓝藻门在于桥水库的占比最大，为 16.05%；裸藻门在北大港水库的占比最大，为 11.76%；甲藻门在于桥水库的占比最大，为 4.32%；隐藻门、黄藻门、金藻门只出现在于桥水库中。第二期硅藻门在北大港水库占比最大，为 43.75%；绿藻门在于桥水库的占比最大，为 34.29%；蓝藻门在于桥水库的占比最大，为 26.67%；裸藻门在北大港水库的占比最大，为 14.58%；甲藻门在于桥水库的占比最大，为 2.86%；隐藻门在北大港水库的占比最大，为 2.08%；金藻门在北大港水库的占比最大，最大值为 1.04%；黄藻门只出现在于桥水库。

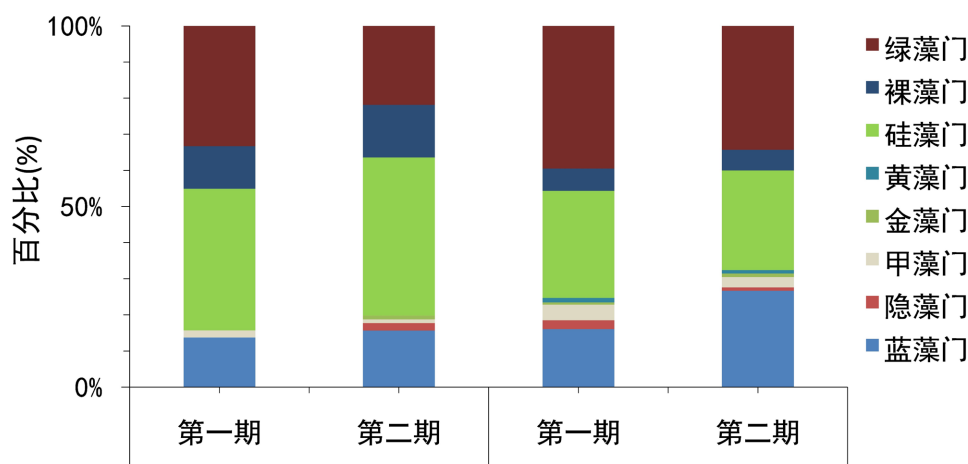


Figure 5. The spatial characteristics of the percentage composition of species richness in reservoirs  
图 5. 水库物种丰富度百分组成的空间特征

### 3.2. 浮游植物平均密度

河流部分浮游植物平均密度如图 6 所示。第一期中，蓟运河水系浮游植物的平均密度最大，为  $1.60 \times 10^8$  cells/L，南四河水系浮游植物的平均密度最小，为  $0.48 \times 10^8$  cells/L；第二期中，独流减河水系浮游植物的平均密度最大，为  $1.06 \times 10^8$  cells/L，蓟运河水系浮游植物的平均密度最小，为  $0.58 \times 10^8$  cells/L。

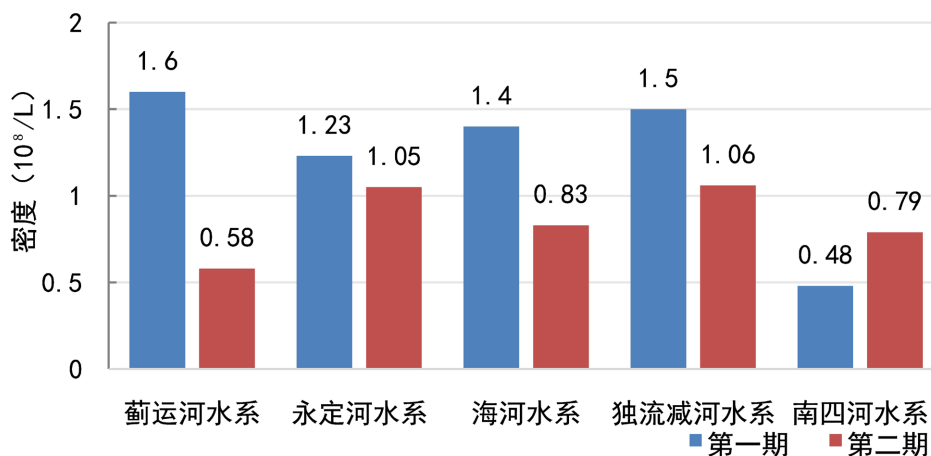


Figure 6. Spatial characteristics of average phytoplankton density in river basins  
图 6. 河流各水系浮游植物平均密度空间特征

浮游植物平均密度组成结果见图 7。蓟运河水系第一期中蓝藻门的平均密度最高，绿藻门次之；第二期中硅藻门平均密度最高，蓝藻门次之。永定新河水系第一期中硅藻门的平均密度最高，绿藻门次之；第二期中蓝藻门平均密度最高，硅藻门次之。海河水系第一期中绿藻门的平均密度最高，蓝藻门次之；第二期中，蓝藻门平均密度最高，绿藻门和硅藻门次之。独流减河水系第一期中蓝藻门的平均密度最高，绿藻门次之；第二期中，蓝藻门平均密度最高，硅藻门次之。南四河水系第一期中硅藻门的平均密度最高，绿藻门、蓝藻门次之；第二期中蓝藻门平均密度最高，绿藻门次之。

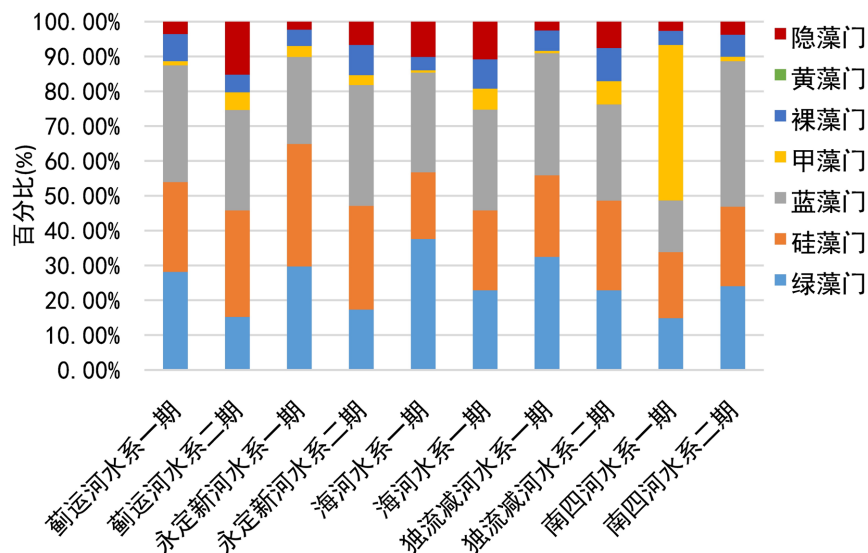


Figure 7. Spatial characteristics of the percentage composition of the average density of phytoplankton in major river systems  
图 7. 河流各水系浮游植物平均密度百分组成的空间特征

水库部分调查水域浮游植物各类群密度结果如图 8 所示：第一期北大港水库浮游植物平均密度较大，为  $36.28 \times 10^6$  cells/L；于桥水库浮游植物平均密度较小，为  $4.15 \times 10^6$  cells/L。第二期北大港水库浮游植物平均密度较大，为  $23.50 \times 10^6$  cells/L；于桥水库浮游植物平均密度较小，为  $22.30 \times 10^6$  cells/L。

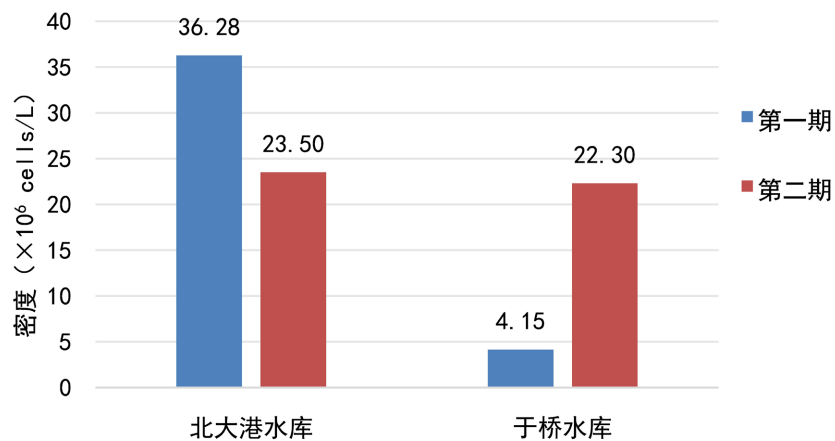


Figure 8. Spatial characteristics of phytoplankton density in reservoirs  
图 8. 水库浮游植物密度空间特征

### 3.3. 浮游植物生物量

河流部分浮游植物平均生物量结果如图 9 所示。第一期中，蓟运河水系浮游植物的平均生物量最大，最大值为 0.39 mg/L，南四河水系浮游植物的平均生物量最小，最小值为 0.13 mg/L。第二期中，独流减河水系浮游植物的平均生物量最大，最大值为 25.66 mg/L，南四河水系浮游植物的平均生物量最小，最小值为 8.49 mg/L。

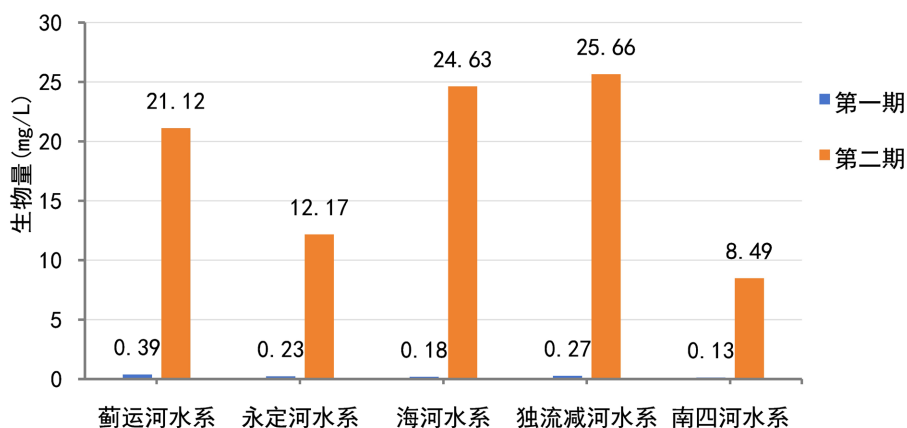


Figure 9. Spatial characteristics of average phytoplankton biomass in river basins  
图 9. 河流各水系浮游植物平均生物量空间特征

水库部分浮游植物平均生物量结果如图 10 所示。第一期北大港水库浮游植物的平均生物量较大，为 153.56 mg/L；于桥水库浮游植物的平均生物量较小，为 3.74 mg/L。第二期于桥水库浮游植物的平均生物量较大，为 12.74 mg/L；北大港水库浮游植物的平均生物量较小，为 6.48 mg/L。

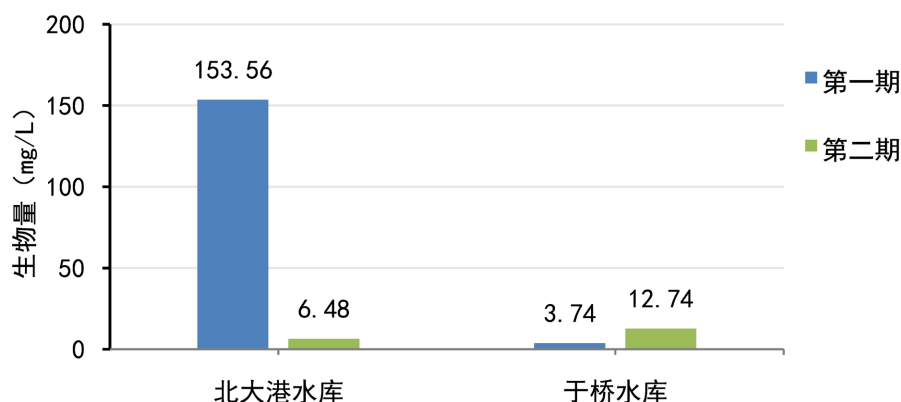


Figure 10. Spatial characteristics of average phytoplankton biomass by reservoir  
图 10. 浮游植物按水库排列的平均生物量空间特征

### 3.4. 各水域优势种

浮游植物优势种如表 1 所示，第一期中，绿裸藻、隐藻是各水系中均出现的优势种。独流减河水系优势种最多，为 16 种。第二期中，绿裸藻、隐藻和衣藻是各水系中均出现的优势种，独流减河水系优势种最多，为 17 种。

**Table 1.** Statistics of dominant phytoplankton species  
**表 1.** 浮游植物优势种统计情况

水系	第一期优势种	第二期优势种
蓟运河水系	微小色球藻( <i>Chroococcus minutus</i> )	席藻( <i>Phormidium</i> sp.)
	小环藻( <i>Cyclotella</i> )	隐藻( <i>Cryptomonas</i> sp.)
	栅藻( <i>Scenedesmus</i> sp.)	针杆藻( <i>Synedra ulna</i> )
	针杆藻( <i>Synedra ulna</i> )	小环藻( <i>Cyclotella</i> )
	绿裸藻( <i>Euglena viridis</i> )	衣藻( <i>Chlamydomonas</i> sp.)
	点状平裂藻( <i>Merismopedia punctata</i> )	多甲藻( <i>Peridinium</i> )
	纤维藻( <i>Ankistrodesmus</i> )	绿裸藻( <i>Euglena viridis</i> )
	隐藻( <i>Cryptomonas</i> sp.)	栅藻( <i>Scenedesmus</i> sp.)
	微囊藻( <i>Microcystis</i> sp.)	微小色球藻( <i>Chroococcus minutus</i> )
	席藻( <i>Phormidium</i> sp.)	普通小球藻( <i>Chlorella vulgaris</i> )
	肋缝菱形藻( <i>Frustulia rhomboides</i> (Ehr.) De Toni)	
	舟形藻( <i>Navicula</i> )	
	十字藻( <i>Crucigenia</i> sp.)	
	永定新河水系	小环藻( <i>Cyclotella</i> )
微小色球藻( <i>Chroococcus minutus</i> )		微小色球藻( <i>Chroococcus minutus</i> )
衣藻( <i>Chlamydomonas</i> sp.)		隐藻( <i>Cryptomonas</i> sp.)
针杆藻( <i>Synedra ulna</i> )		席藻( <i>Phormidium</i> sp.)
舟形藻( <i>Navicula</i> )		绿裸藻( <i>Euglena viridis</i> )
栅藻( <i>Scenedesmus</i> sp.)		颗粒直链藻( <i>Melosira granulata</i> (Ehr.) Ralfs.)
肋缝菱形藻( <i>Frustulia rhomboides</i> (Ehr.) De Toni)		颤藻( <i>Oscillatoria</i> sp.)
席藻( <i>Phormidium</i> sp.)		多甲藻( <i>Peridinium</i> )
绿裸藻( <i>Euglena viridis</i> )		点状平裂藻( <i>Merismopedia punctata</i> )
颗粒直链藻( <i>Melosira granulata</i> (Ehr.) Ralfs.)		肋缝菱形藻( <i>Frustulia rhomboides</i> (Ehr.) De Toni)
隐藻( <i>Cryptomonas</i> sp.)		栅藻( <i>Scenedesmus</i> sp.)
颤藻( <i>Oscillatoria</i> sp.)		十字藻( <i>Crucigenia</i> sp.)
多甲藻( <i>Peridinium</i> )		舟形藻( <i>Navicula</i> )
海河水系		小环藻( <i>Cyclotella</i> )
	隐藻( <i>Cryptomonas</i> sp.)	隐藻( <i>Cryptomonas</i> sp.)
	微小色球藻( <i>Chroococcus minutus</i> )	微小色球藻( <i>Chroococcus minutus</i> )
	纤维藻( <i>Ankistrodesmus</i> )	席藻( <i>Phormidium</i> sp.)
	衣藻( <i>Chlamydomonas</i> sp.)	小环藻( <i>Cyclotella</i> )
	席藻( <i>Phormidium</i> sp.)	颗粒直链藻( <i>Melosira granulata</i> (Ehr.) Ralfs.)
	点状平裂藻( <i>Merismopedia punctata</i> )	多甲藻( <i>Peridinium</i> )
	针晶蓝纤维藻( <i>Dactylococcopsis raphidioides</i> )	绿裸藻( <i>Euglena viridis</i> )
		颤藻( <i>Oscillatoria</i> sp.)

续表

	十字藻( <i>Crucigenia</i> sp.)	普通小球藻( <i>Chlorella vulgaris</i> )
	绿裸藻( <i>Euglena viridis</i> )	针杆藻( <i>Synedra ulna</i> )
	栅藻( <i>Scenedesmus</i> sp.)	衣藻( <i>Chlamydomonas</i> sp.)
	微囊藻( <i>Microcystis</i> sp.)	尖尾扁裸藻( <i>Phacus acuminatus</i> )
	肋缝菱形藻( <i>Frustulia rhomboides</i> (Ehr.) De Toni)	栅藻( <i>Scenedesmus</i> sp.)
		肋缝菱形藻( <i>Frustulia rhomboides</i> (Ehr.) De Toni)
	肋缝菱形藻( <i>Frustulia rhomboides</i> (Ehr.) De Toni)	席藻( <i>Phormidium</i> sp.)
	栅藻( <i>Scenedesmus</i> sp.)	小环藻( <i>Cyclotella</i> )
	颤藻( <i>Oscillatoria</i> sp.)	肋缝菱形藻( <i>Frustulia rhomboides</i> (Ehr.) De Toni)
	规则四角藻( <i>Tetraedron regulare</i> )	隐藻( <i>Cryptomonas</i> sp.)
	针晶蓝纤维藻( <i>Dactylococcopsis raphidioides</i> )	多甲藻( <i>Peridinium</i> )
	小环藻( <i>Cyclotella</i> )	绿裸藻( <i>Euglena viridis</i> )
	点状平裂藻( <i>Merismopedia punctata</i> )	衣藻( <i>Chlamydomonas</i> sp.)
	绿裸藻( <i>Euglena viridis</i> )	颤藻( <i>Oscillatoria</i> sp.)
独流减河水系	微小色球藻( <i>Chroococcus minutus</i> )	颗粒直链藻( <i>Melosira granulata</i> (Ehr.) Ralfs.)
	席藻( <i>Phormidium</i> sp.)	针晶蓝纤维藻( <i>Dactylococcopsis raphidioides</i> )
	针杆藻( <i>Synedra ulna</i> )	纤维藻( <i>Ankistrodesmus</i> )
	十字藻( <i>Crucigenia</i> sp.)	栅藻( <i>Scenedesmus</i> sp.)
	衣藻( <i>Chlamydomonas</i> sp.)	微小色球藻( <i>Chroococcus minutus</i> )
	普通小球藻( <i>Chlorella vulgaris</i> )	点状平裂藻( <i>Merismopedia punctata</i> )
	隐藻( <i>Cryptomonas</i> sp.)	十字藻( <i>Crucigenia</i> sp.)
	舟形藻( <i>Navicula</i> )	尖尾扁裸藻( <i>Phacus acuminatus</i> )
		大螺旋藻( <i>Spirulina major</i> )
	多甲藻( <i>Peridinium</i> )	小环藻( <i>Cyclotella</i> )
	小环藻( <i>Cyclotella</i> )	席藻( <i>Phormidium</i> sp.)
	微小色球藻( <i>Chroococcus minutus</i> )	颤藻( <i>Oscillatoria</i> sp.)
	纤维藻( <i>Ankistrodesmus</i> )	针晶蓝纤维藻( <i>Dactylococcopsis raphidioides</i> )
	绿裸藻( <i>Euglena viridis</i> )	十字藻( <i>Crucigenia</i> sp.)
	针杆藻( <i>Synedra ulna</i> )	绿裸藻( <i>Euglena viridis</i> )
南四河水系	针晶蓝纤维藻( <i>Dactylococcopsis raphidioides</i> )	微小色球藻( <i>Chroococcus minutus</i> )
	舟形藻( <i>Navicula</i> )	衣藻( <i>Chlamydomonas</i> sp.)
	隐藻( <i>Cryptomonas</i> sp.)	普通小球藻( <i>Chlorella vulgaris</i> )
	肋缝菱形藻( <i>Frustulia rhomboides</i> (Ehr.) De Toni)	点状平裂藻( <i>Merismopedia punctata</i> )
	衣藻( <i>Chlamydomonas</i> sp.)	隐藻( <i>Cryptomonas</i> sp.)
	普通小球藻( <i>Chlorella vulgaris</i> )	舟形藻( <i>Navicula</i> )
		栅藻( <i>Scenedesmus</i> sp.)
		针杆藻( <i>Synedra ulna</i> )
		肋缝菱形藻( <i>Frustulia rhomboides</i> (Ehr.) De Toni)

续表

北大港水库	假鱼腥藻( <i>Pseudanabaena</i> )	假鱼腥藻( <i>Pseudanabaena</i> )
	羽纹藻( <i>Pinnularia</i> )	细小平裂藻( <i>Merismopedia tenuissima</i> )
	类颤藻鱼腥藻( <i>Anabaena oscillarioide</i> )	点状平裂藻( <i>Merismopedia punctata</i> )
	泥泞颤藻( <i>Oscillatoria limosa</i> )	类颤藻鱼腥藻( <i>Anabaena oscillarioide</i> )
	铜绿微囊藻( <i>Microcystis aeruginosa</i> )	
	肘状针杆藻( <i>Synedra ulna</i> )	
	蹄形藻( <i>Kirchneriella lunaris</i> )	
于桥水库	假鱼腥藻( <i>Pseudanabaena</i> )	假鱼腥藻( <i>Pseudanabaena</i> )
	铜绿微囊藻( <i>Microcystis aeruginosa</i> )	拉氏拟柱胞藻( <i>Cylindrospermopsis raciborskii</i> )
	尖针杆藻( <i>Synedra acus</i> )	鱼腥藻( <i>Anabaena</i> )
	点状平裂藻( <i>Merismopedia punctata</i> )	束丝藻( <i>Aphanizomenon</i> )

水库部分浮游植物优势种结果显示, 第一期假鱼腥藻、铜绿微囊藻是两个水库均出现的优势种。北大港水库优势种有 7 种, 而于桥水库优势种有 4 种。第二期假鱼腥藻是两个水库均出现的优势种。北大港水库优势种有 4 种, 于桥水库优势种有 4 种。

优势种种类数越多且优势度越小, 则群落结构越复杂、稳定[15]。不同时期北大港水库浮游植物优势种既有交叉又有演替, 小席藻、假鱼腥藻和类颤藻鱼腥藻均处于主要优势种地位, 北大港水库第一期优势种主要是蓝藻门、绿藻门和硅藻门的种类, 第二期优势种主要是蓝藻门种类。北大港水库第一期的优势度范围在 0.02~0.13 之间, 第二期优势度范围在 0.06~0.25 之间。两次结果比较, 北大港水库第一期优势种种类较多但优势度不高。假鱼腥藻在于桥水库两个时期均处于主要优势种地位, 于桥水库第一期优势种主要是蓝藻门和硅藻门的种类, 第二期优势种主要是蓝藻门种类。于桥水库第一期的优势度范围在 0.03~0.12 之间, 第二期优势度范围在 0.10~0.29 之间。

### 3.5. 浮游植物多样性指数

本次调查主要从 Shannon-Wiener 多样性指数( $H'$ )、Pielou 均匀度指数( $J$ )、Margalef 丰富度( $D$ )指数三个方面对环境作出评价, 结果显示见表 2。

浮游植物物种多样性指数越高, 其群落结构越复杂, 稳定性越大, 水质越好; 反之, 指数越低, 群落结构越简单, 稳定性越差, 说明水体污染越严重[16]。若 Shannon-Wiener 生物多样性指数在 0~1 之间, 则为重污染; 在 1~3 之间, 则为中污染; 大于 3, 则为轻污染或无污染。对于 Shannon-Wiener 多样性指数, 蓟运河水系中, 第一期调查 JY03 点位多样性最高, 为 3.90, JY01 点位最低, 为 2.54, 水系平均值为 3.26; 第二期 JY07 点位多样性最高, 为 2.62, JY01 点位最低, 为 1.82, 水系平均值为 2.38。永定新河水系中, 第一期调查 YD01 点位多样性最高, 为 4.30, YD04 点位最低, 为 2.68, 水系平均值为 3.50; 第二期 YD09 点位多样性最高, 为 2.95, YD05 点位最低, 为 2.14, 水系平均值为 2.67。海河水系中, 第一期调查 HH02 点位多样性最高, 为 4.34, HH08 点位最低, 为 2.60, 水系平均值为 3.31; 第二期 HH03 点位多样性最高, 为 3.06, HH08 点位最低, 为 1.67, 水系平均值为 2.52。独流减河水系中, 第一期调查 DL06 点位多样性最高, 为 3.92, DL05 点位最低, 为 2.72, 水系平均值为 3.50; 第二期 DL01 点位多样性最高, 为 3.14, DL05 点位最低, 为 2.10, 水系平均值为 2.77。南四河水系中, 第一期调查 NS01 点位多样性最高, 为 3.46, NS03 点位最低, 为 2.00, 水系平均值为 2.70; 第二期 NS01 点位多样性最高, 为 2.74, NS03 点位最低, 为 2.32, 水系平均值为 2.56。总体来看, 两期数据对比, Shannon-Wiener 多样性指数二期比一期普遍下降。

**Table 2.** Phytoplankton diversity index  
**表 2.** 浮游植物多样性指数

水系	点位	Shannon-Wiener 多样性指数( $H'$ )		Pielou 均匀度指数( $J$ )		Margalef 丰富度指数( $D$ )	
		第一期	第二期	第一期	第二期	第一期	第二期
蓟运河水系	JY01	2.54	1.82	0.65	0.41	1.62	2.02
	JY02	3.48	2.37	0.72	0.50	2.54	2.69
	JY03	3.90	2.50	0.79	0.60	3.06	2.06
	JY04	2.97	2.32	0.66	0.59	2.04	1.75
	JY05	3.55	2.49	0.81	0.55	1.94	2.50
	JY06	2.74	2.53	0.59	0.51	2.20	3.22
	JY07	3.65	2.62	0.77	0.56	2.20	2.72
	均值	3.26	2.38	0.71	0.53	2.23	2.42
永定新河水系	YD01	4.30	2.35	0.89	0.49	3.02	2.51
	YD02	3.51	2.81	0.75	0.57	2.37	2.98
	YD03	3.46	2.61	0.75	0.55	2.20	2.56
	YD04	2.68	2.62	0.55	0.52	2.69	3.26
	YD05	4.15	2.14	0.85	0.46	2.91	2.30
	YD06	3.84	2.86	0.78	0.57	2.91	3.23
	YD07	3.13	2.93	0.70	0.60	1.93	2.65
	YD08	3.82	2.82	0.77	0.59	3.07	2.93
	YD09	2.82	2.95	0.65	0.61	1.88	2.90
	YD10	3.62	2.63	0.82	0.57	2.05	2.53
	YD11	3.05	2.63	0.66	0.56	2.20	2.63
	YD12	2.75	2.59	0.62	0.50	2.02	3.13
	YD13	4.14	2.54	0.85	0.52	2.73	2.99
	YD14	3.72	2.86	0.80	0.58	2.57	2.94
均值	3.50	2.67	0.75	0.55	2.47	2.82	
海河水系	HH01	3.64	2.60	0.77	0.54	2.76	2.47
	HH02	4.34	2.84	0.88	0.59	3.18	2.78
	HH03	3.54	3.06	0.83	0.62	2.03	2.91
	HH04	3.93	2.63	0.83	0.54	2.96	2.90
	HH05	2.74	2.68	0.66	0.56	1.88	2.93
	HH06	3.55	2.56	0.75	0.54	2.30	2.77
	HH07	3.11	2.42	0.67	0.51	2.60	2.70
	HH08	2.60	1.67	0.61	0.35	1.86	2.58
	HH09	2.68	2.31	0.57	0.53	2.14	2.34
	HH10	3.03	2.47	0.71	0.51	1.58	3.04
	HH11	3.30	2.47	0.78	0.53	1.57	2.67
均值	3.31	2.52	0.73	0.53	2.26	2.73	

续表

独流减河水系	DL01	3.46	3.14	0.85	0.61	1.48	3.35
	DL02	3.29	3.02	0.76	0.62	1.85	2.90
	DL03	3.48	2.95	0.78	0.57	2.16	3.34
	DL04	3.64	2.33	0.76	0.53	2.26	2.14
	DL05	2.72	2.10	0.74	0.59	1.96	1.47
	DL06	3.92	2.75	0.79	0.56	2.88	2.88
	DL07	3.84	3.02	0.82	0.58	2.35	3.40
	DL08	3.68	2.83	0.87	0.58	1.77	2.77
	均值	3.50	2.77	0.79	0.58	2.09	2.78
南四河水系	NS01	3.46	2.74	0.80	0.58	2.06	2.68
	NS02	3.15	2.48	0.81	0.54	1.82	2.29
	NS03	2.00	2.32	0.60	0.51	1.31	2.38
	NS04	2.63	2.60	0.64	0.58	1.73	2.35
	NS05	2.26	2.66	0.59	0.55	1.33	2.82
	均值	2.70	2.56	0.69	0.55	1.65	2.50

浮游植物种类的个体数越接近, Pielou 指数越高, 水质越好; 反之, 指数越低, 水质越差。若 Pielou 指数在 0~0.3 之间, 则为重污染; 在 0.3~0.5 之间, 则为中污染; 在 0.5~0.8 之间, 则为轻污染或无污染 [17]。对于 Pielou 均匀度指数, 蓟运河水系中, 第一期调查 JY05 点位均匀度最高, 为 0.81, JY06 点位最低, 为 0.59, 水系平均值为 0.71; 第二期 JY03 点位均匀度最高, 为 0.60, JY01 点位最低, 为 0.41, 水系平均值为 0.53。永定新河水系中, 第一期调查 YD01 点位均匀度最高, 为 0.89, YD04 点位最低, 为 0.55, 水系平均值为 0.75; 第二期 YD09 点位均匀度最高, 为 0.61, YD05 点位最低, 为 0.46, 水系平均值为 0.55。海河水系中, 第一期调查 HH02 点位均匀度最高, 为 0.88, HH09 点位最低, 为 0.57, 水系平均值为 0.73; 第二期 HH03 点位均匀度最高, 为 0.62, HH08 点位最低, 为 0.35, 水系平均值为 0.53。独流减河水系中, 第一期调查 DL08 点位均匀度最高, 为 0.87, DL05 点位最低, 为 0.74, 水系平均值为 0.79; 第二期 DL02 点位均匀度最高, 为 0.62, DL04 点位最低, 为 0.53, 水系平均值为 0.58。南四河水系中, 第一期调查中 NS02 点位均匀度最高, 为 0.81, NS05 点位最低, 为 0.59, 水系平均值为 0.69; 第二期 NS01、04 点位均匀度最高, 为 0.58, NS03 点位最低, 为 0.51, 水系平均值为 0.55。总体来看, 两期数据对比, Pielou 均匀度指数二期比一期普遍降低。

浮游植物种类越多, 个体数量分布就越均匀, Margalef 指数就越大, 指示环境就越稳定; 反之, 指数越小, 指示环境就越差。若 Margalef 指数小于 3, 则水质重污染; 在 3~4 之间, 则为中污染; 在 4~5 之间, 则为轻污染; 大于 5, 则为无污染 [18]。对于 Margalef 丰富度指数, 蓟运河水系中, 第一期调查 JY03 点位丰富度最高, 为 3.06, JY01 点位最低, 为 1.62, 水系平均值为 2.23; 第二期 JY06 点位丰富度最高, 为 3.22, JY04 点位最低, 为 1.75, 水系平均值为 2.42。永定新河水系中, 第一期调查 YD08 点位丰富度最高, 为 3.07, YD09 点位最低, 为 1.88, 水系平均值为 2.47; 第二期 YD04 点位丰富度最高, 为 3.26, YD05 点位最低, 为 2.30, 水系平均值为 2.82。海河水系中, 第一期调查中 HH02 点位丰富度最高, 为 3.18, HH11 点位最低, 为 1.57, 水系平均值为 2.26; 第二期 HH10 点位丰富度最高, 为 3.04, HH09 点位最低, 为 2.34, 水系平均值为 2.73。独流减河水系中, 第一期调查 DL06 点位丰富度最高, 为 2.88,

DL01 点位最低, 为 1.48, 水系平均值为 2.09; 第二期 DL07 点位丰富度最高, 为 3.40, DL05 点位最低, 为 1.47, 水系平均值为 2.78。南四河水系中, 第一期调查 NS01 点位丰富度最高, 为 2.06, NS03 点位最低, 为 1.31, 水系平均值为 1.65; 第二期 NS05 点位丰富度最高, 为 2.82, NS02 点位最低, 为 2.29, 水系平均值为 2.50。总体来看, 两期数据对比, Margalef 丰富度指数二期比一期普遍升高。

水库部分, 结果显示见表 3。对于 Shannon-Wiener 多样性指数, 北大港水库第一期 DL13 点位多样性最高, 为 3.24; DL12 点位多样性最低, 为 2.47; 水库平均值为 2.99。第二期 DL09 点位多样性最高, 为 2.26; DL11 点位多样性最低, 为 1.09; 水库平均值为 1.93。于桥水库第一期 YQ05 点位多样性最高, 为 3.62, YQ12 点位多样性最低, 为 0.14, 水库平均值为 2.14; 第二期 YQ01 点位多样性最高, 为 3.15, YQ06 点位多样性最低, 为 2.05, 水库平均值为 2.65。总体来看, 北大港水库第一期多样性高于第二期, 于桥水库第二期多样性高于第一期。

**Table 3.** Phytoplankton diversity index for reservoirs  
**表 3.** 水库浮游植物多样性指数

水库	点位	Shannon-Wiener 多样性指数( $H'$ )		Pielou 均匀度指数( $J$ )		Margalef 丰富度指数( $D$ )	
		第一期	第二期	第一期	第二期	第一期	第二期
北大港 水库	DL09	3.21	2.26	0.78	0.59	2.22	2.16
	DL10	3.01	2.20	0.87	0.53	1.18	2.24
	DL11	3.00	1.09	0.72	0.30	1.90	1.56
	DL12	2.47	2.11	0.78	0.47	1.04	2.43
	DL13	3.24	2.01	0.79	0.45	2.07	2.68
	均值	2.99	1.93	0.79	0.47	1.68	2.21
于桥水库	YQ01	2.41	3.15	0.62	0.77	2.68	2.90
	YQ02	1.81	2.26	0.57	0.59	1.31	1.70
	YQ03	2.72	2.78	0.66	0.67	3.04	2.25
	YQ04	1.03	3.04	0.65	0.73	0.39	2.20
	YQ05	3.62	2.82	0.80	0.70	3.24	1.89
	YQ06	3.59	2.05	0.88	0.51	2.26	1.85
	YQ07	2.33	2.47	0.70	0.65	1.52	1.60
	YQ08	1.35	3.06	0.85	0.71	0.42	2.35
	YQ09	3.09	2.79	0.69	0.67	3.23	2.17
	YQ10	2.33	2.12	0.70	0.57	1.75	1.69
	YQ11	1.23	2.60	0.48	0.63	0.89	2.25
	YQ12	0.14	2.67	0.14	0.62	0.17	2.42
均值	2.14	2.65	0.65	0.65	1.74	2.11	

对于 Pielou 均匀度指数, 北大港水库第一期 DL10 点位均匀度最高, 为 0.87; DL11 点位均匀度最低, 为 0.72; 水库平均值为 0.79。北大港水库第二期 DL09 点位均匀度最高, 为 0.59; DL11 点位均匀度最低, 为 0.30; 水库平均值为 0.47。于桥水库第一期 YQ06 点位均匀度最高, 为 0.88; YQ12 点位均匀度最低, 为 0.14; 水库平均值为 0.65。于桥水库第二期 YQ01 点位均匀度最高, 为 0.77; YQ06 点位均匀度

最低, 为 0.51; 水库平均值为 0.65。总体来看, 北大港水库第一期均匀度高于第二期, 于桥水库第一期与第二期均匀度一致。

对于 Margalef 丰富度指数, 北大港水库第一期 DL09 点位丰富度最高, 为 2.22; DL12 点位丰富度最低为 1.04, 水库平均值为 1.68。北大港水库第二期 DL13 点位丰富度最高, 为 2.68; DL11 点位丰富度最低, 为 1.56; 水库平均值为 2.21。于桥水库第一期 YQ05 点位丰富度最高, 为 3.24; YQ12 点位丰富度最低, 为 0.17; 水库平均值为 1.74。于桥水库第二期 YQ01 点位丰富度最高, 为 2.90; YQ07 点位丰富度最低, 为 1.60; 水库平均值为 2.11。总体来看, 北大港水库第一期的丰富度低于第二期, 于桥水库第一期丰富度低于第二期。

#### 4. 讨论与结论

本研究对天津市重点河湖水库浮游植物群落结构进行系统的调查与分析, 通过综合优势种组成等多维度指标, 展现其季节分布特点, 并评估区域水生态健康状况。研究表明, 天津市重点河湖水库浮游植物群落主要由绿藻门、硅藻门和蓝藻门组成, 物种组成与优势种在不同水系和季节有明显差异。河流中鉴定出 7 门 54 种浮游植物, 水库鉴定出 8 门 240 种, 这表明水库物种更丰富, 群落结构也更复杂 [19]。绿藻门在多数水系中占主导地位; 蓝藻门在独流减河、南四河水系中的占比有所上升, 存在富营养化隐患 [20]。通过对优势种的深入分析, 本研究揭示了生态系统潜在的富营养化风险及其演变趋势。绿藻门在多数水系中占据主导地位, 体现了其作为基础营养级的核心作用; 而蓝藻门在独流减河、南四河水系中的占比上升, 则是对富营养化隐患的明确警示, 预示着潜在的蓝藻水华风险 [21]。群落结构中优势种数量多、优势度低的情况更稳定, 反之则易受环境扰动影响。对比两期数据, Shannon-Wiener 指数和 Pielou 均匀度指数呈下降趋势, Margalef 丰富度指数上升, 这反映出物种数量增加但分布不均, 蓟运河和海河水系的稳定性有所降低 [22], 因此需要强化监测与管理。从空间分布来看, 永定新河与独流减河水系的生态结构相对较好; 蓟运河与南四河水系富营养化风险较高。从时间维度分析, 第二期部分水系蓝藻门密度上升, 这可能与夏季因素有关, 体现了气候变化与人为活动的叠加影响 [23]。于桥水库物种丰富但分布不均; 北大港水库第二期多样性指数下降、优势度升高, 生态系统面临退化压力, 需要施行差异化管理。本研究证实了浮游植物多样性指数在水生态健康评估中的有效性, 为水生态修复提供了科学依据, 建议对高风险区域加强管控。但本研究存在一定局限性, 调查周期较短, 未来应结合长期监测与多因子分析, 完善评估体系, 为水环境管理提供精准支持, 推动水生态的精准保护与可持续管理。

#### 参考文献

- [1] Pal, R. and Choudhury, A.K. (2014) A Brief Introduction to Phytoplanktons. In: *An Introduction to Phytoplanktons: Diversity and Ecology*, Springer, 1-41. [https://doi.org/10.1007/978-81-322-1838-8\\_1](https://doi.org/10.1007/978-81-322-1838-8_1)
- [2] Li, Y., Fang, L., Cao, G., Mi, W., Lei, C., Zhu, K., et al. (2024) Reservoir Regulation-Induced Variations in Water Level Impacts Cyanobacterial Bloom by the Changing Physiochemical Conditions. *Water Research*, **259**, Article 121836. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2024.121836>
- [3] Liu, B.Q., Chen, M.R. and Wang, C.S. (2024) The Dynamics of Trophic Cascades on Phytoplankton Induced by Mesozooplankton in Coastal Water, Daya Bay, Northern South China Sea. *Microorganisms*, **12**, Article 1982. <https://doi.org/10.3390/microorganisms12101982>
- [4] Sun, R., Wei, J., Zhang, S. and Pei, H. (2024) The Dynamic Changes in Phytoplankton and Environmental Factors within Dongping Lake (China) before and after the South-to-North Water Diversion Project. *Environmental Research*, **246**, Article 118138. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.118138>
- [5] Chen, T.T., Zhang, Y.X., Song, S.Q., et al. (2022) Diversity and Seasonal Variation of Marine Phytoplankton in Jiaozhou Bay, China Revealed by Morphological Observation and Metabarcoding. *Journal of Oceanology and Limnology*, **40**, 577-591. <https://doi.org/10.1007/s00343-021-0457-7>
- [6] Rajapaksha, R.P., Wu, M., Wang, Y., Bandara, G., Atapaththu, K.S.S. and Wang, Y. (2024) Long-Term Alterations of

- Nutrient Dynamics and Phytoplankton Communities in Daya Bay, South China Sea. *Marine Pollution Bulletin*, **208**, Article 116955. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.116955>
- [7] Hu, X.Y., Hu, M., Zhu, Y., *et al.* (2022) Phytoplankton Community Variation and Ecological Health Assessment for Impounded Lakes along the Eastern Route of China's South-to-North Water Diversion Project. *Journal of Environmental Management*, **318**, Article 115561. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115561>
- [8] 张杰. 天津市卫星应用进展[J]. 卫星应用, 2017(10): 48-53.
- [9] 国家环境保护总局. HJ/T91-2002 地表水和污水监测技术规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003.
- [10] 胡鸿钧, 魏印心. 中国淡水藻类: 系统、分类及生态[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [11] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. 第4版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [12] 刘懂, 陈晨, 王莉, 等. 象山港海洋牧场示范区浮游植物的群落特征及其与环境因子的关系[J]. 海洋与湖沼, 2016, 47(5): 1024-1032.
- [13] 孙军, 刘东艳. 多样性指数在海洋浮游植物研究中的应用[J]. 海洋学报, 2004, 26(1): 62-75.
- [14] 马克平, 刘玉明. 生物群落多样性的测度方法:  $\alpha$ 多样性的测度方法(下)[J]. 生物多样性, 1994, 2(4): 231-239.
- [15] 王崇, 憨雪莹, 黄道明, 等. 红水河龙滩水库浮游植物的群落结构特征[J]. 水生态学杂志, 2013, 34(6): 34-40.
- [16] 张旭芳, 冯佳, 谢树莲. 汾河上游藻类群落结构及水质评价[J]. 应用与环境生物学报, 2013, 19(5): 734-741.
- [17] 熊莲, 刘冬燕, 王俊莉, 等. 安徽太平湖浮游植物群落结构[J]. 湖泊科学, 2016, 28(5): 1066-1077.
- [18] 李慧, 刘妍, 范亚文, 等. 三江平原湿地同江地区水域夏季浮游植物群落结构特征[J]. 植物学报, 2014, 49(4): 440-449.
- [19] 杨华, 傅志茹, 李春艳, 等. 天津市河流和水库浮游植物群落与水环境因子关系的研究[J]. 淡水渔业, 2012, 42(6): 33-37.
- [20] 卞少伟, 王海英, 梅鹏蔚, 等. 海河天津段夏季浮游植物群落结构特征[C]//中国环境科学学会. 2015年中国环境科学学会学术年会论文集(第二卷). 2015: 258-263.
- [21] 孙军, 刘东艳, 杨世民, 等. 渤海中部和渤海海峡及邻近海域浮游植物群落结构的初步研究[J]. 海洋与湖沼, 2002(5): 461-471.
- [22] 徐香勤, 蔡文倩, 雷坤, 等. 天津市河流生态完整性评价[J]. 环境科学研究, 2020, 33(10): 2308-2317.
- [23] Zhao, W., Li, Y., Jiao, Y., Zhou, B., Vogt, R., Liu, H., *et al.* (2017) Spatial and Temporal Variations in Environmental Variables in Relation to Phytoplankton Community Structure in a Eutrophic River-Type Reservoir. *Water*, **9**, Article 754. <https://doi.org/10.3390/w9100754>