

Analysis of Phytoplankton Community Structure Characteristics in Guanting Reservoir from 2019 to 2023

Ruiling Han Qiusheng Wang Xiaomeng Ma Xiao Wang

Beijing Guanting Reservoir Management Office, Zhangjiakou, Hebei, 075441, China

Abstract

Based on the monitoring results of phytoplankton algae in Guanting reservoir from 2019 to 2023, the characteristics of community composition, density change, dominant species and diversity in Guanting reservoir were analyzed. The results indicate that from 2019 to 2023, 299 species of phytoplankton belonging to 114 genera and 7 phyla were detected in Guanting reservoir. The number of species detected in each year decreased each year, from 155 in 2019 to 111 in 2023. From 2019 to 2023, the annual variation range and mean variation range of phytoplankton algae density in Guanting reservoir were 523,000 to 24,824,000/L and 3,256,000~15,306,000/L, respectively, and the density of phytoplankton algae increased year by year. The annual variation in algae density showed significant seasonal variation, with higher density in summer and lower density in spring and autumn. Diatoms, cyanobacteria and green algae have high cell density and are the main components of planktonic algae. In addition, the cell density of alga changed from cyanobacteria in 2019 to diatom in the first place and finally to green algae in 2023.

Keywords

Guanting reservoir; phytoplankton; community structure

2019—2023年官厅水库浮游藻类群落结构特征分析

韩瑞伶 王秋生 马晓萌 王潇

北京市官厅水库管理处, 中国·河北 张家口 075441

摘要

基于2019—2023年官厅水库浮游藻类监测结果,分析了官厅水库浮游藻类的群落构成、密度变化、优势种和多样性等特征。结果表明:2019—2023年,官厅水库共检出浮游植物7门114属299种。各年份检出种属数逐年减少,从2019年的155种减少到2023年的111种。2019—2023年,官厅水库浮游藻类密度的年变化范围和均值变化范围分别是52.3万~2482.4万个/L和325.6万~1530.6万个/L,浮游藻类密度逐年上升。藻类密度的年变化表现出明显的季节变化,夏季密度较高,春季和秋季密度较低。硅藻、蓝藻和绿藻的细胞密度较高,是浮游藻类的主要组成成分。且藻细胞密度由2019年的蓝藻为主先转变为硅藻为主最后转变为2023年的绿藻为主。

关键词

官厅水库;浮游植物;社区结构

1 引言

浮游植物一般指的是浮游藻类,指的是漂浮在水中的微小植物。浮游藻类是湖泊水库等水体中水生生物的重要组成部分,是水环境的重要初级生产者,也是水中溶解氧的主要供应者,它是浮游动物的主要摄食对象,也是鱼、虾、蟹等的生物饵料,在水域生态系统的能量流动、物质循环和信息传递中起着至关重要的作用^[1]。虽然浮游藻类生长周期短,但是生长迅速。浮游藻类可对生存环境的变化做出迅速的动态响应,随着环境的变化,浮游藻类的丰度、优势种以及分布均可能随之变化^[2]。目前,浮游藻类被广泛用作水体水质的

指示生物,如硅藻常作为指示藻种用来指示水体的污染情况,对于湖泊水库等淡水水体的水质分析和生态健康评价均具有重要的意义^[3-5]。

官厅水库是新中国成立后第一座大型水库,它位于河北省怀来县和北京市延庆区的贵水河和永定河交汇处,总库容41.60亿m³,永定河流域控制面积4.34万km²。20世纪50年代,官厅水库水质良好,是80年代以后重要的饮用水源地之一,20世纪90年代,水质持续恶化,1997年,水库被迫退出城市饮用水系统。为改善流域水生态环境,2001年国务院批复了《21世纪初期(2001—2005年)首都水资源可持续利用规划》,官厅水库于2007年恢复成为北京市备用水源地^[6]。2017年国务院批复的《北京城市总体规划(2016—2035年)》明确提出,有序实施官厅水库、永定河流域生态修复,到2035年恢复官厅水库饮用水源地功能。

【作者简介】韩瑞伶(1987-),女,中国北京人,本科,工程师。

因此,促进库区生态修复,改善流域水生态状况,是当前水库工作的重点。

2 材料与方法

2.1 调查时间及采样站点的设置

官厅水库库区为研究对象,2019—2020年采样点是永1000、河口和妣1018+1,2021—2023年增加永1008断面,监测频率为每年的春季5月或者6月,夏季8月和秋季10月,包括浮游藻类的萌发期、繁盛期和衰亡期。采样点位如图1所示。

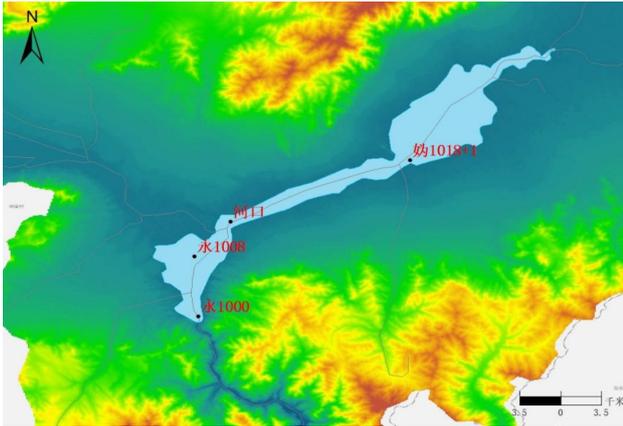


图1 官厅水库采样站点分布图

2.2 方法

2.2.1 浮游藻类的采集、固定和计数

浮游藻类定性样品用25 μ m(孔径64 μ m)浮游生物网在站点划“ ∞ ”形采集,装入50mL广口瓶中加入少量甲醛溶液和水样1%体积的鲁哥试剂固定;定量样品采集用5L有机玻璃采水器分3层采水:分别在表层(距水面0.5m),中层和底层(距水底0.5m)各采集水样5L,混匀后装入1L广口瓶,并加入10mL鲁哥试剂溶液固定。将所有水样带回实验室进行处理和分析。浮游藻类的采样、计数和重量计算方法按《淡水浮游生物研究方法》^[7]执行,种类的计数与鉴定参照《中国淡水藻志》^[8]。

2.2.2 浮游藻类的优势度

优势度^[9] $Y \geq 0.02$ 则为优势种,计算公式为:

$$Y = \frac{n_i}{N} * f_i \quad (\text{式1})$$

其中, n_i 为第*i*种浮游植物的丰度; N 为总丰度, f_i 为第*i*种浮游植物的出现频率。

2.2.3 浮游藻类多样性指数及评价

Shannon-wiener多样性指数(H'):一般用来反映物种数目的多少、物种丰富度和均匀程度^[10-12]。计算公式如下:

$$H' = -\sum_{i=1}^s P_i \log_2 P_i \quad (\text{式2})$$

Pielou均匀度指数(J):反映了各个物种的个体数目分配的均匀程度,每个种类的个体数越是接近,则说明各个种类个体数的分布越是均匀,群落的均匀度就越高,反之则

越低。计算公式如下:

$$J = H' / \log_2 s \quad (\text{式3})$$

Margalef丰富度指数(d):主要反映的是群落中物种的丰富度,侧重点在于种类数与总丰度之间关系,但对于不同种类个数的分配情况解析度不足。计算公式如下:

$$d = (s-1) / \ln N \quad (\text{式4})$$

浮游植物多样性指数对水环境指示标准如表1所示。

表1 浮游生物多样性指数对水环境状况的指示标准

Shannon-wiener多样性指数(H')	Pielou均匀度指数(J)	Margalef丰富度指数(d)
0~1	0~0.3	0~3
1~2	0.3~0.5	3~4
2~3	0.5~0.8	4~5
>3	>0.8	>5

2.3 数据处理

Excel软件对测定数据进行汇总、初步统计分析和绘制图表,运用SPSS 22.0中的单因素方差分析(ANOVA)对相同年份的不同季节间的藻浓度进行比较,在进行方差分析前,对数据进行方差齐性检验和正态分布检验,方差分析的显著性水平为0.05。

3 结果与分析

3.1 浮游藻类群落构成

官厅水库2019—2023年,5年共检出7门114属299种。其中绿藻48属140种,占46.82%,是库区的主要类群。其次是硅藻,共有28属62种,占20.74%。蓝藻有24属59种,占总数的19.74%。裸藻共有4属14种,占总数的4.68%。甲藻有5属12种,占总数的4.01%。金藻有3属6种隐藻门为2属6种,均占2.01%。

2019—2023年各年份检出浮游藻类分别为7门155种、7门138种、7门125种、7门125种、7门111种。其中2019年绿藻门70种>硅藻41种>蓝藻门24种>裸藻门7种>甲藻门5种=隐藻门5种>金藻门3种;2020年绿藻门59种>硅藻门40种>蓝藻24种>隐藻门6种>裸藻门4种>金藻3种>甲藻2种;2021年绿藻门63种>硅藻门26种>蓝藻门19种>甲藻门7种>隐藻门4种=裸藻门4种>金藻门2种;2022年绿藻门59种>硅藻24种>蓝藻门23种>甲藻门7种>裸藻门6种>隐藻门4种>金藻门2种;2023年绿藻门51种>硅藻门29种>蓝藻18种>裸藻门4种>甲藻门3种=隐藻门3种=金藻3种。

2019—2023年,官厅水库浮游藻类门类没有变化均为7门,但种类数目逐年减少。各年份各门浮游藻类种数占比如图2所示,其中绿藻门种数为第一优势,占比相对比较稳定,45%上下,硅藻门种数为第二优势,占比在25%上下,2022年略低于20%;蓝藻门种数为第三优势,

种数占比稳定,保持在15%上下;前三优势门的种数占比之和在85%以上,其他4门浮游植物,甲藻门、裸藻门、隐藻门和金藻门种数占比相对较低并且比较稳定,4门藻种数占比在10%~15%之间以上,2022年达到最高15.2%,其中甲藻门、裸藻门、隐藻门相对于2019年有明显降低,金藻种数占比有所升高。

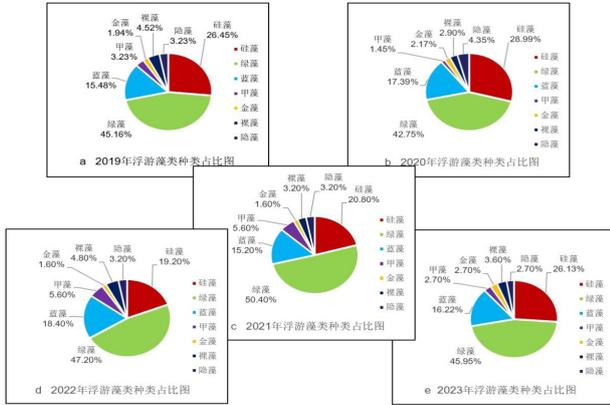


图2 2019—2023年官厅水库浮游植物种类占比图

3.2 浮游藻类密度变化

2019—2023年,官厅水库浮游藻类密度的年变化范围和均值分别是52.3万~677.3万个/L(均值325.6万个/L)、95.6万~646.0万个/L(均值446.5万个/L)、516.6万~786.6万个/L(均值653.7万个/L)、2223.2万~2368.7万个/L(均值1530.6万个/L)、517.4万~2482.4万个/L(均值1233.2万个/L)。2022年10月未进行浮游藻类的监测。2019—2023年浮游藻类密度呈逐年增加趋势。年均值密度水平为2019年<2020年<2021年<2023年<2022年。2022年浮游植物密度明显高于其他年份,2022年为保证北京冬奥会顺利召开,2021年下半年从上游蓄水,官厅水库的蓄水量明显高于其他年份,年平均值达到5.6亿m³,由于蓄水量的提高,2022年的浮游植物密度也随之增高。

官厅水库的浮游植物密度表现出明显的季节性变化。根据表2显示的数据,从2019年到2023年,各季节的浮游藻类密度呈现不同水平。夏季时水体温度平均在25℃以上,非常适合浮游植物的快速生长和繁殖,因此夏季浮游植物的总密度达到最高;而春季和秋季(5月和10月)水体温度较低,约为15℃左右,这种环境条件限制了浮游植物的繁殖,因此它们的密度相对较低。

表2 2019—2023年官厅水库浮游藻类密度值

	2019年	2020年	2021年	2022年	2023年
春季	247.1 ^b	95.6 ^b	657.8 ^a	2223.2 ^a	517.4 ^b
夏季	677.3 ^a	597.7 ^a	786.6 ^a	2368.7 ^a	2482.4 ^a
秋季	52.3 ^b	646.0 ^a	516.6 ^a	—	699.8 ^b

注:同列中标有不同小写字母者表示组间有显著性差异($P < 0.05$),标有相同小写字母者表示组间无显著性差异($P \geq 0.05$)。

2019—2023年各年份各门浮游藻类密度如图3所示。硅藻门、蓝藻门、绿藻门和隐藻门是官厅水库浮游植物的优势门类,各门藻细胞密度占总藻细胞密度比例较高,而其他门类所占比例较低。各门藻类密度2019—2023年占比如图4所示,2019年浮游植物的优势门类硅藻门、蓝藻门、绿藻门和隐藻门密度占总藻细胞的比例分别为10.05%、72.94%、15.08%、0.73%;2020年浮游植物的优势门类硅藻门、蓝藻门、绿藻门和隐藻门密度占总藻细胞的比例分别为56.38%、30.38%、7.75%、0.53%;2021年浮游植物的优势门类硅藻门、蓝藻门、绿藻门和隐藻门密度占总藻细胞的比例分别为43.71%、12.60%、36.30%、5.37%;2022年浮游植物的优势门类硅藻门、蓝藻门、绿藻门和隐藻门密度占总藻细胞的比例分别为8.89%、46.64%、41.42%、1.78%;2023年浮游植物的优势门类硅藻门、蓝藻门、绿藻门和隐藻门密度占总藻细胞的比例分别为17.00%、12.31%、64.62%、5.63%^[13]。

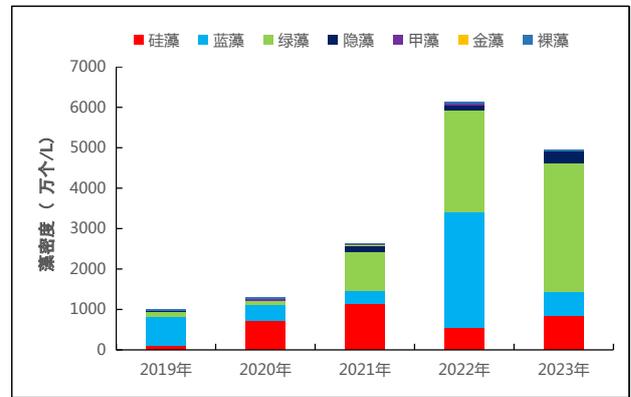


图3 2019—2023年各门藻类密度图

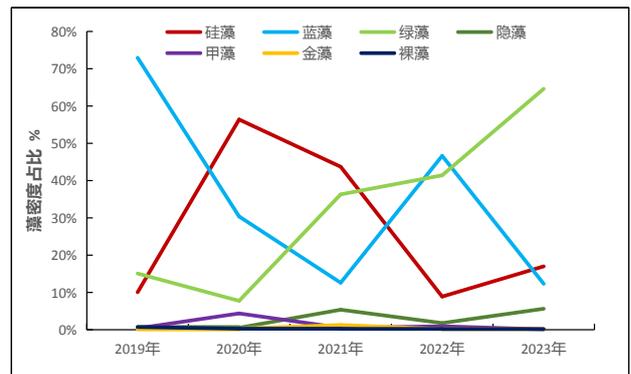


图4 2019—2023年各门藻密度占比图

由此可见,2019—2023年,硅藻门细胞密度占总藻细胞密度比例先呈上升趋势之后再呈下降趋势,2020年达到最高;蓝藻门细胞密度占总藻细胞密度的比例逐年递减,2022年有反复,从2019年第一优势门到2023年变成第三优势门;绿藻门细胞密度占总藻密度的比例逐年增加,从2019年的第二优势门到2023年变成第一优势门;隐藻门细胞密度占总藻细胞密度的比例逐年增加,2019—2023年优

势度相比有所增加。

综合上述情况,总结出官厅水库各年份浮游植物密度季节演替如表3所示。2019—2023年各门藻类季节演替规律与各门藻类密度占比呈正相关,2019年蓝藻占比第一,硅藻和绿藻其次,季节演替就是从蓝藻向其他两门藻演替;2020年硅藻占比第一,蓝藻和绿藻其次,季节演替从硅藻向蓝藻绿藻演替;2021年硅藻占比和绿藻占比相差无几,季节演替是硅藻和绿藻交替向其他门藻演替;2022年蓝藻和绿藻占比相差无几,季节演替是蓝藻和绿藻交替向其他门藻演替,2023年绿藻占比较高,季节演替是绿藻向其他门藻演替。

表3 各年份浮游植物密度季节演替规律表(按照浓度)

	2019年	2020年	2021年	2022年	2023年
5月	蓝藻-硅藻-绿藻	硅藻-绿藻-蓝藻	硅藻-绿藻-蓝藻	蓝藻-绿藻-硅藻	硅藻-绿藻-蓝藻
8月	蓝藻-绿藻-硅藻	硅藻-蓝藻-绿藻	绿藻-硅藻-蓝藻	绿藻-蓝藻-硅藻	绿藻-蓝藻-硅藻
10月	蓝藻-绿藻-硅藻	硅藻-蓝藻-绿藻	硅藻-绿藻-蓝藻	-	绿藻-蓝藻-硅藻

3.3 浮游植物优势度

在2019年到2023年期间,官厅水库浮游植物的优势种和优势度变化如表4所示,前三名的优势度范围分别是

表4 2019—2023年官厅水库优势种月份变化表(前三位优势种)

	5月	8月	10月
2019年	细鞘丝藻(0.1783)	小形色球藻(0.2292)	微囊藻 sp.(0.1871)
	隐球藻 sp.(0.1560)	点形粘球藻(0.1424)	不定微囊藻(0.0850)
	小环藻 sp.(0.0429)	网球藻 sp.(0.0755)	史密斯微囊藻(0.0425)
2020年	角甲藻(0.0830)	脆杆藻 sp.(0.2707)	脆杆藻 sp.(0.3825)
	卵囊藻 sp.(0.0781)	铜绿微囊藻(0.0833)	水华微囊藻(0.0550)
	小环藻 sp.(0.0651)	针杆藻 sp.(0.0726)	小环藻 sp.(0.0528)
2021年	小环藻 sp.(0.2355)	小环藻 sp.(0.1666)	小环藻 sp.(0.4280)
	湖生卵囊藻(0.1882)	湖生卵囊藻(0.0819)	假鱼腥藻 sp.(0.0802)
	扁圆卵形藻(0.1842)	啮蚀隐藻(0.0697)	丰富栅藻原变种(0.0465)
2022年	微(细)小平裂藻(0.3269)	微(细)小平裂藻(0.0290)	
	点平裂藻(0.0593)	链状伪鱼腥藻(0.0212)	
	细小隐球藻(0.0702)	扁圆卵形藻(0.0340)	
2023年	梅尼小环藻(0.1526)	小空星藻(0.2092)	直链藻 sp.(0.1132)
	小球藻 sp.(0.0992)	四角十字藻(0.1254)	细小隐球藻(0.1057)
	近缘桥弯藻(0.0622)	四足十字藻(0.0550)	湖生卵囊藻(0.0655)

总的来看,小环藻在各个季节和月份都占据优势,显示出它对官厅水库水体的良好适应性。2019年,蓝藻的优势期持续时间较长,主要是因为这一年的温度较高,蓝藻生长条件更加有利。2020年出现甲藻门,角甲藻主要生活在海水中,但也能在淡水环境生存,甚至能在寒冷且盐分较高的水域中生长,2020年5月水体中盐分的含量明显高于其他月份,适合角甲藻生存,所以大量繁殖,成为第一优势种。其他年份优势种硅藻为主,且出现在不同季节不同月份,硅藻的耐受温度范围较广。

0.04~0.23、0.05~0.38、0.05~0.38、0.02~0.33和0.05~0.21。当某月的优势种优势度较高时,其他浮游植物的优势值会相应降低,导致该种类数量减少。大多数月份的优势度不高,表明浮游植物群落结构较为复杂。各年的优势种虽有差异,但它们之间也存在亲缘关系。2019年,浮游植物的优势种构成较为复杂,主要以蓝藻门为主。2020年浮游植物的优势种以角甲藻、小环藻 sp.、针杆藻 sp.、脆杆藻 sp.、铜绿微囊藻、圆柱鱼腥藻等为主,以硅藻门为主,蓝藻门、绿藻门也有,甲藻门的角甲藻在5月成为第一优势种。2021年浮游植物的优势种以小环藻 sp.、湖生卵囊藻、扁圆卵囊藻、尖针杆藻、啮蚀隐藻、游丝藻 sp.、丰富栅藻原变种等为主,包括硅藻门、绿藻门、隐藻门。5月出现的有优势种在8月和10月也都是优势种。2022年浮游植物优势种以微(细)小平裂藻、细小隐球藻、四足十字藻、点平裂藻等为主,包括蓝藻门和绿藻门,但是各个优势种的优势度不很高。2023年浮游植物优势种以小空星藻、梅尼小环藻、小球藻 sp.、扁圆卵形藻、湖生卵囊藻、双对栅藻等为主,包括绿藻门和硅藻门。

3.4 浮游植物多样性指数分析

2019—2023年官厅水库浮游植物群落的 Shannon-wiener 多样性指数的年变化范围和均值分别是:2.48~3.52(均值3.32)、3.57~5.22(均值4.34)、2.88~4.56(均值3.66)、4.18~4.75(均值4.47)、4.49~4.99(均值4.75)。Pielou 均匀度指数年变化范围和均值分别是0.42~0.58、0.52~0.81(均值0.64)、0.46~0.72(0.58)、0.66~0.72(均值0.69)、0.74~0.82(0.78)。Margalef 丰富度指数年变化范围和均值分别是8.47~14.31(均值12.01)、15.20~17.89(均值16.14)、9.55~9.90

(均值 9.75)、8.89~10.38 (9.64)、7.28~8.64 (均值 8.12)。

由此可见: 2019—2023 年官厅水库浮游植物 Shannon-wiener 多样性指数基本都高于 3, 水体属于清洁水体, 只有 2019 年 5 月 2.48 和 2021 年 10 月 2.88 在 2~3 之间, 水体属于 β -重污染水体。Pielou 均匀度指数基本都在 0.5~0.8 之间, 水体属于轻污染水体, 只有 2019 年 5 月 0.42 属于中污染水体, 2023 年 10 月 0.82 达到无污染水体。Margalef 丰富度指数全部高于 5, 属于清洁水体。

4 结论

2019 至 2023 年, 官厅水库检测到 7 门 114 属共 299 种浮游植物。其中, 绿藻门占据 48 属 140 种, 占总数的 46.82%, 是主要类群; 其次是硅藻门, 占 28 属 62 种, 占比 20.74%; 蓝藻门 24 属 59 种, 占 19.74%; 裸藻门 4 属 14 种, 占 4.68%; 甲藻门 5 属 12 种, 占 4.01%; 金藻门 3 属 6 种和隐藻门 2 属 6 种, 各占 2.01%。每年的种类数量逐渐减少, 从 2019 年的 155 种减少到 2023 年的 111 种。2019—2023 年, 官厅水库浮游植物密度的年变化范围和均值分别是 52.3 万~677.3 万个/L (均值 325.6 万个/L)、95.6 万~646.0 万个/L (均值 446.5 万个/L)、516.6 万~786.6 万个/L (均值 653.7 万个/L)、2223.2 万~2368.7 万个/L (均值 1530.6 万个/L)、517.4 万~2482.4 万个/L (均值 1233.2 万个/L)。浮游植物密度逐年上升, 平均藻密度从 2019 年的 325.6 万个/L 上升到 2023 年的 1233.2 万个/L, 藻类密度的年变化表现出明显的季节变化, 夏季密度较高, 春季和秋季密度较低。硅藻、蓝藻和绿藻细胞密集, 是浮游植物的主要组成部分。且藻细胞密度由 2019 年的蓝藻为主先转变为硅藻为主最后转变为 2023 年的绿藻为主。

官厅水库不同年份的优势种有所差异, 以硅藻, 蓝藻、绿藻为主, 其中硅藻门的小环藻出现频率较高, 且出现在不同季节不同月份, 说明小环藻对官厅水库的水体适应性

较强。

基于浮游植物 Shannon-wiener 多样性指数、Pielou 均匀度指数和 Margalef 丰富度指数对水体进行评价, 官厅水库 2019—2023 年水体水质良好, 偶尔会出现中到重污染程度, 总体水质处于轻度污染和清洁水体之间。

参考文献

- [1] 赵露. 永定河上游段浮游植物群落结构时空变化特征及其水质评价效果评估[D]. 济南: 山东师范大学, 2022.
- [2] 郑重. 海洋浮游生物和水域生产力[J]. 动物学杂志, 1964(6): 287-289.
- [3] 陈晓江, 高琼, 杜桂森, 等. 北京红领巾湖的富营养化状态与水质分析[J]. 环境污染与防治, 2011, 33(5): 36-39.
- [4] 张妮, 陈晓江, 杜桂森, 等. 北京怀柔水库的浮游藻类与水体营养状态[J]. 水资源保护, 2012.
- [5] 李晨辰, 杜桂森, 赵立新, 等. 北京减河-潮白河水系的浮游植物与水质分析[J]. 中国环境监测, 2011, 27(3): 74-78.
- [6] 杨艳红, 王欣, 白璇. 引黄生态补水对官厅水库水质时空分布影响及污染源解析[J]. 水资源开发与管理, 2022, 8(3): 61-69.
- [7] 章宗涉, 黄祥飞. 淡水浮游生物研究方法[M]. 北京: 科学出版社, 1991.
- [8] 胡鸿钧, 魏印心. 中国淡水藻类[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [9] 孟顺龙, 陈家长, 范立民, 等. 2007年太湖五里湖浮游植物生态学特征[J]. 湖泊科学, 2009, 21(6): 845-854.
- [10] 耿志远, 赵乐乐, 贾欣, 等. 山西省册田水库浮游生物群落结构的季节差异及功能群特征[J]. 大连海洋大学学报, 2024(1): 39.
- [11] 李源, 何连生, 成杰民. 白洋淀浮游植物调查及水质评价[J]. 山东师范大学学报(自然科学版), 2010, 25(1): 102-105+116.
- [12] 詹玉涛, 范正华. 釜溪河浮游植物分布及其与水质污染的相关性研究[J]. 中国环境科学, 1991, 11(1): 29-33.
- [13] 罗阳, 周绪申, 张俊, 等. 官厅水库浮游植物多样性及演变趋势分析[J]. 海河水利, 2013(1): 19-22.