

天津子牙河浮游植物群落结构特征及水质评价

张新月^{1,2}, 蔡鑫鹏², 李翌³, 丁页³, 赵修青², 卞少伟^{1*}

(1. 天津市生态环境监测中心, 天津 300191; 2. 天津天滨瑞成环境技术工程有限公司, 天津 300191; 3. 中国环境监测总站, 北京, 100012)

摘要:【目的】研究天津子牙河浮游植物群落结构特征与环境因子关系、丰富水质管理等方面的基础资料。【方法】显微镜下对2020年天津子牙河4个采样点开展冬、春、夏、秋季样品的浮游植物进行定性鉴定和定量计数, 计算其生物密度、优势种、生物多样性指数等, 并对其水质进行理化分析。【结果】发现浮游植物共7门43种, 优势种以硅藻门和蓝藻门为主。各采样点浮游植物密度全年在 $5.86 \times 10^7 \sim 40.5 \times 10^7$ ind./L之间。全年水质类别在Ⅲ~Ⅴ类之间。Shannon-Wiener多样性指数(H')在0.83~2.53之间, Pielou均匀度指数(J')的在0.25~0.68之间, Margalef丰富度指数(D)在0.30~0.47之间。相关分析结果表明, 高锰酸盐指数、化学需氧量和氨氮是影响天津子牙河浮游植物群落变化的主要环境因子。【结论】天津子牙河浮游植物种类组成为硅-蓝藻型, 水质状况为良好~中度污染水平, 生物多样性指数评价显示水体污染状况为轻污染-重污染水平, 说明天津子牙河已经具备水华的内在条件。

关键词: 子牙河; 浮游植物; 群落结构; 天津

中图分类号: Q949.2

文献标志码: A

文章编号: 2095-7300(2022)01-0070-07

Characteristics of Phytoplankton Community Structure and Water Quality Assessment in Ziya River of Tianjin

ZHANG Xinyue^{1,2}, CAI Xinpeng², LI Zhao³, DING Ye³,
ZHAO Xiuqing², BIAN Shaowei¹

(1. TianjinEco-Environmental Monitoring Centre, Tianjin 300191, China; 2. Tianjin Tianbinruicheng Environmental Technology and Engineering Co., Ltd., Tianjin 300191, China; 3. China National Environmental Monitoring Centre, Beijing 100012, China)

Abstract:【Objective】Explore the relationship between community structure of phytoplankton and the environmental factors as well as the basic data of water quality management in Ziya River. 【Method】

收稿日期: 2021-08-31

基金项目: 国家自然科学基金项目(41601101)

作者简介: * 为通信作者: 卞少伟, 硕士, 高级工程师, 研究方向: 水污染防治、水环境质量监测及水生态调查, E-mail: bianshaowei47@163.com; 张新月, 硕士, 助理工程师, 研究方向: 水质分析、水生生物鉴定, E-mail: 1305886305@qq.com。

引文格式: 张新月, 蔡鑫鹏, 李翌, 等. 天津子牙河浮游植物群落结构特征及水质评价[J]. 湖南生态科学学报, 2022, 9(1): 70-76. ZHANG X Y, CAI X P, LI Z, et al. Characteristics of phytoplankton community structure and water quality assessment in Ziya River of Tianjin[J]. Journal of Hunan Ecological Science, 2022, 9(1): 70-76.

Based on the water environment and plankton field sampling survey in the winter, spring, summer and autumn of 2020, the surveys were analyzed combined with the biological density, dominant species and biodiversity index. 【Result】A total of 43 phytoplankton species were identified, belonging to 7 phyla. Dominant species are mainly from the classes Bacillariophyta and Cyanophyta. The phytoplankton's abundance of different sampling sites ranged from 5.86×10^7 to 40.5×10^7 ind/L in the whole year. The water quality of the whole year was between III and V. Shannon-Wiener diversity index ranged from 0.83 to 2.53, Pielou's index from 0.25 to 0.68, and Margalef's index from 0.30 to 0.47. The results of correlation analysis showed that COD_{Mn} , COD and $\text{NH}_3\text{-N}$ were the main environmental factors affecting the change of phytoplankton community in Ziya River. 【Conclusion】The species composition of phytoplankton in Ziya River was Bacillario-Cyanophyta type. The water quality was good in moderate pollution level. The evaluation of diversity index showed that the water nutrition ranges were from slight pollution to heavy pollution, which indicated that the conditions were prepared for Algal bloom.

Keywords: Ziya River; phytoplankton; community structure; Tianjin

天津子牙河自静海区第六堡至市区海河三岔河口,约30 km,流经天津市静海区、西青区、北辰区、河北区和红桥区,最终与北运河、南运河相汇入海河。近几年,天津子牙河受农业面源、生活污水和市政排水管网雨污合流等多方面的影响,污染较为严重。赵永志等^[1]调查结果显示天津子牙河总体水质为劣V类水体。水体营养盐浓度的升高对水生态系统健康状况影响,已成为研究热点,采用浮游植物监测调查对河流健康状况进行评价成为一种趋势。

水体营养盐浓度的升高会导致浮游植物数量大量增殖,造成河流水华爆发现象频发,水华的爆发会使水生态系统健康面临严重威胁,生态服务价值丧失。王捷等^[2-5]调查发现汾河太原河段裸藻水华、天津海河干流蓝藻水华。本研究按照《河流水生态环境质量监测与评价技术指南》点位设置方法,选取了天津子牙河4个采样点开展冬季(1月)、春季(5月)、夏季(8月)、秋季(11月)水质和浮游植物采样调查,通过分析水环境质量状况、浮游植物生物学评价以及浮游植物群落结构与环境因子间关系,对天津子牙河开展水生态环境状况评价工作,为今后天津子牙河水生态环境保护、治理与修复提供基础资料和技术支持。

1 材料与方法

1.1 浮游植物样品采集与分析

根据天津子牙河的季节特点和藻类成长特点,

在2020年1月、5月、8月、11月分别进行了采样,均布设4个采样点。采样具体位置(见图1),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》^[6],水质氨氮、总磷和化学需氧量等实验分析参照相关标准规范^[7-10],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号的浮游生物网(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试剂进行固定及保存,实验室内Olympus BX51显微镜下进行浮游植物种类鉴定和个体计数^[11],标准化计算参照《水和废水监测分析方法》(第四版)(增补版)^[12]。

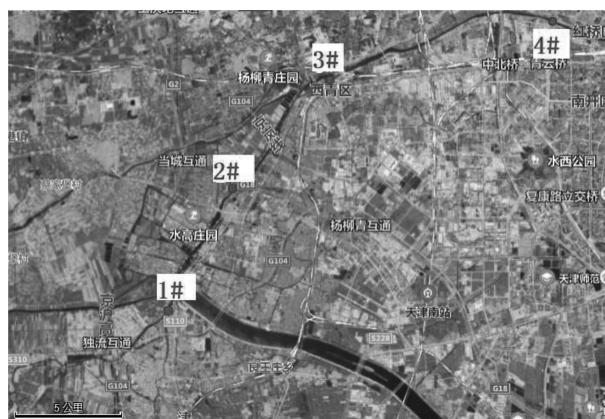


图1 采样点位分布

Figure 1 Distribution of sampling sites in Ziya River

1.2 数据处理

多样性指数包括优势度 (Y)、Shannon-Wiener 指数 (H')、Pielou 均匀度指数 (J')、Margalef 丰富度指数 (D), 计算公式如下^[13-16]:

$$Y = \frac{n_i}{N} \times f_i; \quad (1)$$

$$H' = - \sum_{i=1}^s P_i \log_2 P_i, P_i = n_i/N \quad (2)$$

$$J' = \frac{H'}{\log_2 S}; \quad (3)$$

$$D = \frac{S-1}{\log_2 N} \quad (4)$$

式中 n_i 为第 i 种的数量, N 为采集样品中的所有种类总个体数; S 为采集样品中的种类总数; f_i 为该种在各样品中出现的频率, $Y \geq 0.02$ 为优势种。本文使用 Excel 软件进行数据库建设和统计、处理, 统计图片的绘制, 利用 SPSS 18.0 对浮游植物数据与环境数据进行相关性分析。

2 结果与分析

2.1 浮游植物的种类组成和优势种

2020 年 1 月、5 月、8 月、11 月, 对天津子牙河浮游植物调查, 共发现浮游植物 7 门 43 种属。其中: 硅藻门和蓝藻门均为 11 种属, 各占总物种数的 25.6%; 绿藻门 16 种属, 占 37.2%; 金藻门 2 种属, 占 4.7%; 甲藻门、隐藻门和裸藻门各 1 种属, 均占 2.3%。

冬季(1 月)浮游植物优势种共 2 种属(具体种类见表 1), 均为硅藻, 细胞密度分别为 4.06×10^7 个/L 和 18.5×10^7 个/L; 春季(5 月)浮游植物优势种共 7 种属, 以硅藻为主, 细胞密度变化在 $0.84 \times 10^7 \sim 6.84 \times 10^7$ 个/L 之间; 夏季(8 月)浮游植物优势种共 8 种属, 以蓝藻为主, 细胞密度变化在 $1.74 \times 10^7 \sim 12.8 \times 10^7$ 个/L 之间; 秋季(11 月)浮游植物优势种共 4 种属, 以硅藻为主, 细胞密度变化在 $1.77 \times 10^7 \sim 42.5 \times 10^7$ 个/L 之间(见表 1)。

表 1 天津子牙河浮游植物优势种及密度
Table 1 Dominant Species and Density of Phytoplankton in Ziya River

时间	门	种类及拉丁名	密度/(10^7 个/L)	出现频率 f_i	优势度 Y
冬季 (1 月)	硅藻门	梅尼小环藻 <i>Cyclotella meneghiniana</i>	18.50	75%	0.47
		尖针杆藻 <i>Synedra acus</i>	4.06	100%	0.14
		脆杆藻属 <i>Fragilaria Lyngbye</i> sp.	2.27		0.11
春季 (5 月)	硅藻门	尖针杆藻 <i>Synedra acus</i>	1.54	100%	0.07
		颗粒直链藻 <i>Melosira granulata</i>	6.84		0.32
		梅尼小环藻 <i>Cyclotella meneghiniana</i>	2.51	75%	0.09
	蓝藻门	卷曲鱼腥藻 <i>Anabaena circinalis</i>	0.84		0.04
	绿藻门	肾形衣藻 <i>Chlamydomonas nephriodea</i>	0.91	100%	0.04
	隐藻门	尖尾蓝隐藻 <i>Chroomonas acuta</i>	2.24		0.11
	硅藻门	梅尼小环藻 <i>Cyclotella meneghiniana</i>	6.96	100%	0.13
夏季 (8 月)	甲藻门	多甲藻属 <i>Peridinium</i> sp.	1.74		0.02
		颤藻属 <i>Oscillatoria</i> sp.	4.33	75%	0.06
		平裂藻属 <i>Merismopedia</i> sp.	7.80	25%	0.04
	蓝藻门	微囊藻属 <i>Microcystis</i> sp.	12.80	50%	0.12
		细鞘丝藻属 <i>Leptolyngbya</i> sp.	11.00	100%	0.20
	绿藻门	四尾栅藻 <i>Scenedesmus quadricauda</i>	1.88		0.03
	隐藻门	尖尾蓝隐藻 <i>Chroomonas acuta</i>	2.49	75%	0.03
秋季 (11 月)	硅藻门	尖针杆藻 <i>Synedra acus</i>	3.35		0.04
		梅尼小环藻 <i>Cyclotella meneghiniana</i>	42.50	100%	0.50
	蓝藻门	细鞘丝藻属 <i>Leptolyngbya</i> sp.	14.10		0.17
	隐藻门	尖尾蓝隐藻 <i>Chroomonas acuta</i>	1.77		0.02

2.2 浮游植物的数量变化特征

天津子牙河浮游植物数量分布特征显示(见图2),2020年各采样点浮游植物细胞密度在 $5.86\times 10^7\sim 40.5\times 10^7$ 个/L之间,除2#采样点浮游植物密

度峰值出现在夏季外,其余采样点位浮游植物密度峰值均出现在秋季,其中3#采样点秋季浮游植物数量为全年最大值。从表2中可以看出,天津子牙河浮游植物群落数量占比呈现硅藻-蓝藻相对占据绝对优势。

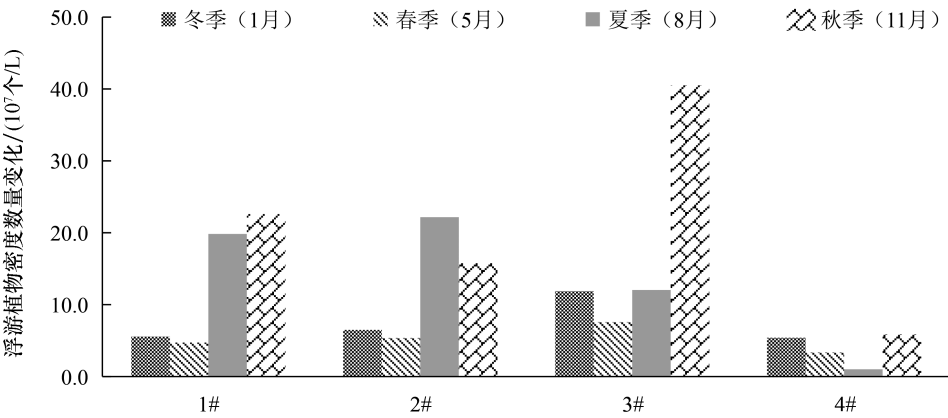


图2 天津子牙河浮游植物密度变化

Figure 2 The temporal-spatial variation of phytoplankton density at each sampling site in Ziya River

根据藻密度评价的水华程度分级标准^[17]:藻类数量 $<2.0\times 10^6$ 个/L,无水华; 2.0×10^6 个/L $\leq$ 藻类数量 $<1.0\times 10^7$ 个/L,无明显水华; 1.0×10^7 个/L $\leq$ 藻类数量 $<5.0\times 10^7$ 个/L,轻度水华; 5.0×10^7 个/L $\leq$ 藻类数量 $<1.0\times 10^8$ 个/L,中度水华;藻类数量 $\geq 1.0\times 10^8$ 个/L,重度水华。春季1#和4#采样点、夏季4#采样点均达到轻度水华标准;冬季1#、2#、4#采样点,春季2#、3#采样点,秋季4#采样点均达到中度水华标准;冬季3#采样点、夏季和秋季的1#、2#、3#采样点均达到重度水华标准;由此可见,天津子牙河水体富营养状况较为严重。

表2 天津子牙河浮游植物不同季节主要门类占比情况(单位:%)

Table 2 Proportion of dominant phytoplankton classes across four seasons in Ziya River (Unit:%)					
	门	1#	2#	3#	4#
冬季 (1月)	蓝藻	1.1	5.4	27.5	1.9
	金藻	0.0	0.0	0.0	14.2
	硅藻	86.2	91.3	70.6	78.1
	隐藻	1.4	0.7	0.9	2.6
	裸藻	3.0	1.3	0.2	0.0
	绿藻	8.3	1.3	0.9	3.3

续表					
	门	1#	2#	3#	4#
春季 (5月)	蓝藻	23.9	10.6	3.2	12.9
	金藻	0.0	4.6	0.0	0.0
	硅藻	54.6	57.8	75.2	70.3
	隐藻	11.8	16.3	8.3	5.3
	裸藻	0.0	1.5	0.4	0.0
	绿藻	8.6	8.4	12.1	9.9
	甲藻	1.1	0.8	0.8	1.5
夏季 (8月)	蓝藻	64.6	80.8	52.9	3.4
	硅藻	13.9	11.0	29.2	93.1
	隐藻	8.4	1.4	4.2	0.0
	裸藻	3.2	1.4	2.2	0.0
	绿藻	6.5	3.8	5.8	3.4
	甲藻	3.5	1.6	5.8	0.0
秋季 (11月)	蓝藻	43.5	39.2	14.4	37.9
	金藻	7.7	0.0	0.0	0.0
	硅藻	27.3	45.0	78.8	54.5
	隐藻	1.8	1.6	2.1	4.5
	裸藻	0.0	0.5	0.0	0.0
	绿藻	19.6	13.8	4.7	3.0

2.3 水质与生物评价状况

根据《地表水环境质量评价办法(试行)》中“当

河流、流域(水系)的断面总数少于 5 个时,计算河流、流域(水系)所有断面各评价指标浓度算术平均值,然后水质类别评价采用单因子评价法方法”,对天津子牙河进行水质状况评价:冬季(1 月)天津子牙河整体水质类别为Ⅳ类,水质状况为轻度污染;春季(5 月)天津子牙河整体水质类别为Ⅲ类,水质状况为良好;夏季(8 月)天津子牙河整体水质类别为Ⅴ类,水质状况为中度污染;秋季(11 月)天津子牙河整体水质类别为Ⅳ类,水质状况为轻度污染。

表 3 可知,各季节主要定级因子均为化学需氧量,各季度浓度均值分别为 25 mg/L、15 mg/L、31 mg/L、25 mg/L,与 2008 年马仁宏等^[18]在天津子牙河调查的水质评价结果相比,天津子牙河整体水质状况有明显改善。根据相关生物指数评价标准^[15],对天津子牙河进行水生态状况综合评价,冬季(1 月)和秋季(11 月)天津子牙河均达到中污染-重污染水平;春季(5 月)和夏季(8 月)天津子牙河均达到轻污染-重污染水平(见表 4)。

表 3 天津子牙河水质变化情况
Table 3 The environmental factors of different seasons in Ziya River

	变化范围	pH	溶解氧/ (mg/L)	高锰酸盐指数/ (mg/L)	化学需氧量/ (mg/L)	生化需氧量/ (mg/L)	氨氮/ (mg/L)	总磷/ (mg/L)
冬季 (1 月)	最大值	8.75	13.11	8.0	38	7.7	0.881	0.24
	最小值	8.11	7.20	4.4	16	3.7	0.130	0.08
	平均值	8.35	10.89	6.2	25	5.2	0.481	0.13
春季 (5 月)	最大值	8.59	9.23	4.5	16	2.8	0.168	0.06
	最小值	8.41	8.87	4.0	13	2.3	0.104	0.03
	平均值	8.50	9.05	4.2	15	2.6	0.132	0.05
夏季 (8 月)	最大值	8.29	8.90	12.0	40	9.3	0.449	0.33
	最小值	8.00	7.15	2.4	10	1.9	0.083	0.03
	平均值	8.15	8.08	8.7	31	6.2	0.304	0.18
秋季 (11 月)	最大值	8.72	11.12	9.1	34	6.5	0.370	0.16
	最小值	8.49	9.66	3.3	11	2.0	0.059	0.02
	平均值	8.61	10.18	7.1	25	4.8	0.230	0.08

表 4 天津子牙河浮游植物多样性指数变化情况
Table 4 Phytoplankton diversity index of different seasons in Ziya River

	变化范围	Shonnon-Weaver 指数 H'	Pielou 均匀度指数 J'	Margalef 丰富度指数 D
冬季 (1 月)	最大值	1.62	0.49	0.39
	最小值	0.83	0.25	0.30
	平均值	1.17	0.35	0.35
春季 (5 月)	最大值	3.05	0.77	0.63
	最小值	2.53	0.68	0.47
	平均值	2.85	0.74	0.53
夏季 (8 月)	最大值	2.93	0.85	0.48
	最小值	2.42	0.64	0.30
	平均值	2.66	0.75	0.42
秋季 (11 月)	最大值	3.25	0.78	0.61
	最小值	1.81	0.43	0.35
	平均值	2.41	0.62	0.54

2.4 浮游植物群落结构与环境因子关系

Pearson 线性分析表明,天津子牙河浮游植物密度数量与高锰酸盐指数呈极显著正相关,与化学需氧量呈显著正相关,Shannon-Wiener 多样性指数和 Pielou 均匀度指数均与氨氮呈显著负相关。由此可知,影响天津子牙河浮游植物群落结构的主要环境因子为高锰酸盐指数、化学需氧量和氨氮(见表5)。

表5 浮游植物密度、多样性指数与环境因子的相关性
Table 5 The correlation between community structure of phytoplankton and environmental factors

环境因子	密度	H'	J'	D
pH	0.120	0.113	0.033	0.364
溶解氧	0.225	-0.420	-0.486	-0.065
高锰酸盐指数	0.679 **	0.007	-0.153	0.312
化学需氧量	0.573 *	-0.142	-0.292	0.223
生化需氧量	0.479	-0.209	-0.344	0.159
氨氮	0.222	-0.511 *	-0.561 *	-0.165
总磷	0.369	-0.174	-0.249	-0.002

注:**表示在0.01水平(双侧)上极显著相关,*表示在0.05水平(双侧)上显著相关。

3 讨论

研究对天津子牙河浮游植物群落结构调查结果与王婧娜等^[19]2015年天津子牙河杨柳青西合闸段的调查结果基本一致,表明天津子牙河已达到轻度-重度水华程度。生物多样性指数常作为一个区域生态环境状况的客观指标而被广泛应用^[20],水质理化指标评价具有瞬时性,不能全面地反映河流健康状况,因此,研究将生物多样性指数与水质理化评价两种方法结合起来进行综合评价,得到的水生态状况结果更加可信和全面。

浮游植物群落结构受环境因素的综合影响,不同水体的环境因素对浮游植物群落结构的影响存在差异。李喆等^[21]对松花江哈尔滨段的研究表明水温、COD_{Mn}和TP是影响浮游植物群落的主要环境因子;巴桑^[22]等对拉萨河下游春、夏季的研究表明总磷和总氮是影响浮游植物群落的主要环境因

子;天津子牙河氨氮、高锰酸盐指数和化学需氧量是影响浮游植物群落的主要环境因子,相关研究也表明,氨氮是浮游植物可以直接吸收的元素形态^[23],营养盐含量能够影响浮游植物的群落结构组成,同时营养盐与蓝藻和硅藻的耐污种类有很好的相关性^[24]。在对天津子牙河的调查分析中,只针对了一年的四个季节以及水体中的部分理化因子,后续研究可以考虑开展浮游植物周年动态进行调查,还可增加其他环境因子进行全面分析,如水动力条件(水体置换等)对藻类生长繁殖、种间竞争以及营养物质混合与运移的影响。

4 结论

2020年天津子牙河浮游植物调查共发现到7门43种属,全年浮游植物的细胞密度范围在 $5.86 \times 10^7 \sim 40.5 \times 10^7$ 个/L之间,与历史数据对比,水华分级、种类和密度等结果基本一致;根据水华分级标准,天津子牙河处于轻度-重度水华水平;天津子牙河种类群落呈现硅藻-蓝藻相对占据绝对优势;水质理化和生物指数评价结果,均表明天津子牙河水质受到一定程度的污染,与历史水质评价结果相比有所改善。

参考文献:

[1] 赵永志,刘玲. 子牙河进洪闸-西河闸段水环境现状分析及治理对策[J]. 甘肃水利水电技术,2009,45(2):53-55.
[2] 王捷,石瑛,刘琪,等. 汾河太原河段水华藻类分类及分子系统研究[J]. 湖泊科学,2018,30(5):1332-1342.
[3] 胡华芬. 天津海河干流蓝藻水华暴发及防治对策探讨[J]. 海河水利,2021(01):25-27.
[4] 林映津,曾小妹,陈倩,等. 东牙溪水库蓝藻水华的应急与长效管控效果[J]. 渔业研究,2020,42(5):429-444.
[5] 胡恩,王文科,张振文,等. 蔺河口水库硅藻水华特征及影响因素研究[J]. 生物学杂志,2020,37(4):58-61.
[6] 国家环境保护总局. 地表水和污水监测技术规范: HJ/T 91-2002[S]. 北京:中国标准出版社,2003.
[8] 中华人民共和国环境保护部. 水质总磷的测定钼酸铵分光光度法: GB 11893-89[S]. 北京:中国标准出版社,1990.
[9] 中华人民共和国环境保护部. 水质高锰酸盐指数的测

- 定:GB 11892-89[S]. 北京:中国标准出版社,1990.
- [10] 中华人民共和国生态环境部. 水质 化学需氧量的测定 重铬酸盐法:HJ 828—2017[S]. 北京:中国标准出版社,2018.
- [11] 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.
- [12] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法(第4版)[M]. 北京:中国环境科学出版社,2002.
- [13] 卞少伟,李泽利,姜伟,等. 网箱养殖清理前潘大水库浮游植物群落结构[J]. 河北师范大学学报(自然科学版),2021,45(1):81-86.
- [14] 卞少伟,韩龙,梅鹏蔚,等. 辽东湾夏秋季节浮游动物群落结构特征及其与环境因子的关系[J]. 天津师范大学学报(自然科学版),2020,40(4):44-49.
- [15] 卞少伟,李莉,韩龙,等. 天津市引滦沿线浮游植物群落结构调查研究[J]. 中国环境管理干部学院学报,2018,28(4):66-68.
- [16] 卞少伟,王秋莲,韩龙,等. 天津北大港湿地秋季浮游植物群落结构特征[J]. 海洋湖沼通报,2017(4):115-121.
- [17] 中华人民共和国生态环境部. 水华遥感与地面监测评价技术规范(试行):HJ 1098-2020[S]. 北京:中国标准出版社,2021.
- [18] 马仁宏,岳建新,梁淑敏. 子牙河下游上段水环境现状分析及治理对策[J]. 海河水利,2008(2):31-33.
- [19] 王婧娜,孙成渤,李建国,等. 子牙河杨柳青西合闸段春季浮游植物调查及水化分析研究[J]. 渔业研究,2017,39(2):120-126.
- [20] 国超旋,王冬梅,胡晓东,等. 石臼湖江苏段浮游植物群落结构特征及与环境因子的关系[J]. 水生态学杂志,2016,37(4):23-29.
- [21] 李喆,霍堂斌,唐富江,等. 松花江哈尔滨段冰下浮游生物群落结构与环境因子的相关分析[J]. 水产学杂志,2014,27(6):44-50.
- [22] 巴桑,杨欣兰,黄香,等. 拉萨河下游春、夏季浮游植物群落特征与水质评价[J]. 高原科学研究,2017,1(1):25-38.
- [23] 胡俊,池仕运,胡菊香. 南四湖浮游植物群落与环境因子关系的 pCCA 分析[J]. 环境科学与技术,2020,43(9):33-39.
- [24] 陈红,刘清,潘建雄,等. 灞河城市段浮游生物群落结构时空变化及其与环境因子的关系[J]. 生态学报,2019,39(1):173-184.

责任编辑:罗小宁
英文校对:王芬