

Study on Phytoplankton Functional Group and Water Quality Evaluation in May of Sanjiang Nature Reserve

Haifeng Pan¹, Hongxian Yu^{1*}, Chengxue Ma¹, Fangying Chai², Ting Yu², Yongfu Ju³

¹Northeast Forestry University, Harbin Heilongjiang

²Water Saving Technology Center of Heilongjiang Province, Harbin Heilongjiang

³Hydrographic Office of Heilongjiang Province, Harbin Heilongjiang

Email: china.yhx@163.com

Received: Dec. 29th, 2018; accepted: Jan. 17th, 2019; published: Jan. 24th, 2019

Abstract

In order to study and analyze the diversity of phytoplankton in Sanjiang Nature Reserve, phytoplankton samples were collected from 16 sampling points of Sanjiang Nature Reserve in the spring of 2017, and systematic analysis was carried out to lay a foundation for wetland water quality evaluation. The composition characteristics of these 16 sample phytoplankton functional groups were analyzed, and 18 functional groups were divided. The important functional groups were MP and Y functional groups, accounting for 58.9% and 13.7%, respectively. The Shanno-Weaver diversity index and the Pielou evenness index evaluate the water quality of the Sanjiang Nature Reserve. Most of the sampling points are in a mild or non-polluting state, and the overall water quality is relatively good, but the dynamic changes of phytoplankton need to be monitored immediately. The results of RDA analysis showed that the most important physical and chemical factors affecting the phytoplankton functional group were Chla, pH and Cond, followed by NO_3^- ; phytoplankton functional groups WS, D and MP were positively correlated with chlorophyll; phytoplankton functional groups W1, P and H1 are negatively correlated with chlorophyll. The phytoplankton functional groups Y, S1, TB and C were positively correlated with pH and nitrate, while the correlations between L0, J, X1, X2, F and N functional groups and physical and chemical environmental factors were not obvious.

Keywords

Sanjiang Nature Reserve, Phytoplankton, Diversity Index, Functional Group

三江自然保护区5月浮游植物功能群研究及水质评价

潘海峰¹, 于洪贤^{1*}, 马成学¹, 柴方营², 于婷², 鞠永富³

*通讯作者。

¹东北林业大学, 黑龙江 哈尔滨

²黑龙江省节约用水技术中心, 黑龙江 哈尔滨

³黑龙江省水文局, 黑龙江 哈尔滨

Email: china.yhx@163.com

收稿日期: 2018年12月29日; 录用日期: 2019年1月17日; 发布日期: 2019年1月24日

摘要

为研究分析三江自然保护区浮游植物多样性, 从2017年春季对三江自然保护区的16个采样点采集浮游植物样品, 进行系统分析, 为湿地水质评价奠定基础。分析这16个样点浮游植物功能群的组成特征, 共划分出18个功能群, 其中重要的功能群为MP和Y功能群, 分别占58.9%和13.7%。通过Shanno-Weaver多样性指数和Pielou均匀度指数对三江自然保护区的水质进行评价, 多数采样点处于轻度或无污染状态, 整体水质较为良好, 但需要即时监测浮游植物动态变化。RDA分析结果显示, 影响春季浮游植物功能群最重要的理化因子为Chla、pH和Cond, 其次为NO₃⁻, 浮游植物功能群WS、D和MP与叶绿素呈正相关, 浮游植物功能群W1、P和H1与叶绿素呈负相关。浮游植物功能群Y、S1、TB和C与pH、硝酸根呈正相关, 而L0、J、X1、X2、F和N功能群等与理化环境因子的相关性不明显。

关键词

三江自然保护区, 浮游植物, 多样性指数, 功能群

Copyright © 2019 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

浮游植物是淡水水体营浮游生活的光合自养生物, 是生态系统中的初级生产者, 对维持生物链的物质传递和能量流动起着重要作用, 影响着次级消费者甚至顶级消费者的生存, 同时它对外界环境变化非常敏感。浮游植物的种类组成和空间分布状况反映特定的水体环境, 而水体环境的改变也影响着浮游植物的种类组成和空间分布。浮游植物个体寿命通常很短, 在一个生长期內可以繁殖很多代, 短世代周期和生活史导致浮游植物群落结构发生很大变化。浮游植物功能群的起初是将具有相似形态、生理和生态特征的浮游植物分类为一组。群落内浮游植物具有相同或相似的生态位, 每个群落都能反映特定的生境类型。1977年发表了第一篇关于植物功能群的论文, 揭开了陆生植物功能群研究的序幕[1]。浮游植物作为水体环境中的重要指示生物, 对水体评价起着至关重要的作用[2]。

2. 材料与方法

2.1. 研究地概况

黑龙江三江自然保护区位于抚远市和黑龙江省佳木斯市和同江市境内。其地理坐标为东经134°36'12"~134°4'38"和北纬47°44'40"~48°8'20", 总面积近200,000公顷。保护区成立于1994年。这是一个自然保护区[3], 主要保护沼泽湿地。保护区内河流属黑龙江、乌苏里江两大水系, 黑龙江流经保护区30

km, 乌苏里江流经保护区 115 km。保护区内共有大小河流 57 条, 湖泊有 210 多个[4], 水域面积很大。其中主要有 3 个支流: 鸭绿河、别拉洪河和浓江河。河上游主要是湿地, 没有明显的河道。流经保护区的中小河流以平原、沼泽和河流为特征。三江自然保护区采样点及生境特点如表 1 所示。

Table 1. Coordinates and habitat conditions of sampling points in Sanjiang nature reserve

表 1. 三江自然保护区采样点坐标及生境状况

采样点编号	采样点	采样点位置	生境特点
1#	退耕示范区 1	48°04'02"N、134°32'39"E	水草多, 植被丰富
2#	退耕示范区 2	48°04'00"N、134°32'42"E	临农田, 坝边深沟, 静水
3#	退耕示范区 3	48°03'58"N、134°32'49"E	黑鱼泡河, 塔头湿地
4#	退耕示范区 4	48°04'02"N、134°33'10"E	
5#	退耕示范区 5	48°04'12"N、134°33'04"E	
6#	乌苏里江干流	48°10'59"N、134°39'10"E	
7#	抓吉	48°10'58"N、134°39'01"E	
8#	别拉洪	47°59'52"N、134°30'14"E	岸边蚌极多, 塔头湿地周边区域
9#	别拉洪水文站	47°55'00"N、134°27'57"E	
10#	大力加湖	48°10'13"N、134°39'07"E	塔头湿地
11#	大苇塘	47°35'45"N、134°36'00"E	小叶樟, 芦苇, 漂筏, 泥炭地
12#	海清	47°52'09"N、134°39'19"E	
13#	黑龙江	48°22'21"N、134°16'42"E	
14#	浓江河	48°11'40"N、134°16'12"E	上游农田废水污染, 采砂厂, 牛羊畜牧
15#	清水河大桥	48°11'46"N、134°06'00"E	
16#	四合门前河	47°31'57"N、134°33'09"E	塔头湿地, 小叶樟

2.2. 材料和方法

浮游植物样品用 1 L 采水器来采集, 用 15% 鲁哥氏液现场向样品中加入 15 ml 固定, 带回实验室, 沉淀 48 小时, 浓缩至 30 mL, 用浮游植物计数框在光学显微镜下进行观察和统计。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, 并根据不同浮游植物种类的体积相关公式计算生物量。透明度(SD)采用塞氏盘测定; 水温(WT)、电导率(Cond)、浊度(NTU)、pH、 NH_4^+ 、 NO_3^- 、叶绿素(Chla)、 Cl^- 等理化指标使用 YSI-6600 多功能水质分析仪现场测定; 总氮总磷(TNTP)、COD、BOD 等理化指标根据《水和废水监测分析方法》测定。

本论文采用 Shanno-Weaver 多样性指数和 Pielou 均匀度指数对水质状况进行评价。

Shanno-Weaver 多样性指数:

$$H' = -\sum_{i=1}^s P_i \log_2 P_i$$

Pielou 均匀度指数:

$$J = \frac{H}{\log_2 N}$$

以上二个公式中, S 为总种数, N 为所有种个体总数, P_i 为第 i 种个体数量在总个体数量中的比例。

三江自然保护区春季(5月)浮游植物的丰度和生物量在各采样点间存在差异(见图 1)。丰度波动于 $30 \times 10^4 \text{ ind./L} \sim 396 \times 10^4 \text{ ind./L}$ 之间, 最高为 1# 采样点, 为 $396 \times 10^4 \text{ ind./L}$, 次高为 4# 采样点, 为 $311 \times 10^4 \text{ ind./L}$,

最低为11#采样点,为 30×10^4 ind./L;生物量在 0.28 mg/L~4.06 mg/L 之间。最高为1#采样点,为 4.06 mg/L,次高为2#采样点,为 2.49 mg/L,最低为8#采样点,为 0.28 mg/L。

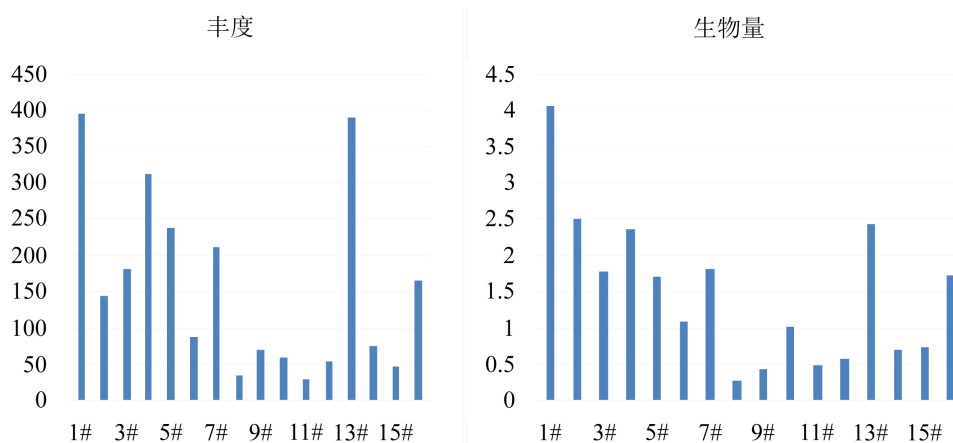


Figure 1. Abundance and biomass distribution of Sanjiang Nature Reserve
图 1. 三江自然保护区丰度和生物量分布图

2.3. 浮游植物多样性特征指数及水质评价

三江浮游植物的多样性指数见图 2。Shannon-Weaver 指数波动于 1.39~4.17 之间,所有采样点平均值为 3.21。最高为 5#采样点,为 4.17,次高为 3#采样点,为 3.78,最低为 13#采样点,为 1.39。Pielou 均匀度指数波动于 0.17~0.65 之间,所有采样点平均值为 0.51,最高为 12#采样点,为 0.65,次高为 11#采样点,为 0.63,最低为 13#采样点,为 0.17。

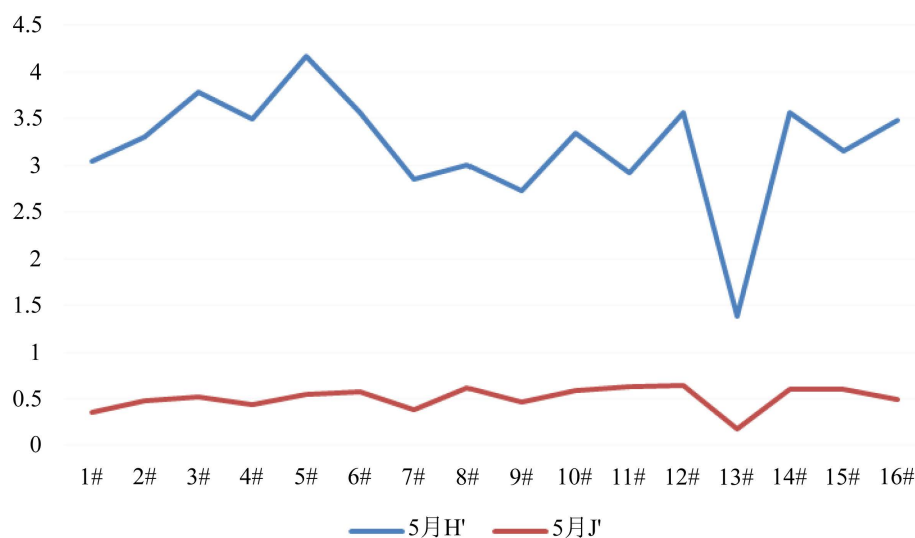


Figure 2. Distribution of diversity index of sampling points in Sanjiang Nature Reserve
图 2. 三江自然保护区各采样点多样性指数分布状况

2.4. RDA 分析结果

RDA 分析结果如表 2 和图 3 所示。如表 2 所示,物种数据的累积变化率的 77.6%在轴 1 和 2 中被解释。轴 1 最重要的正相关因子是叶绿素(Chla),相关系数为-0.113。轴 2 最主要的正相关因子为 pH (-0.411),

其次为硝酸根(-0.194); 最重要的负相关因子为 Cond (0.189)。浮游植物功能群 WS、D 和 MP 与叶绿素呈正相关, 浮游植物功能群 W1、P 和 H1 与叶绿素呈负相关。浮游植物功能群 Y、S1、TB 和 C 与 pH、硝酸根呈正相关, 而 L0、J、X1、X2、F 和 N 功能群等与理化环境因子的相关性不明显。

Table 2. Correlation coefficients of sorting axis feature values, types and environmental factor sorting axes

表 2. 排序轴特征值、种类与环境因子排序轴的相关系数

轴序	特征值	种类-环境相关性	物种数据累计变化率%	物种-环境相关性累计变化率%
1	0.65	0.984	65	73.2
2	0.125	0.894	77.6	87.3
3	0.055	0.77	83	93.4
4	0.024	0.866	85.4	96.1

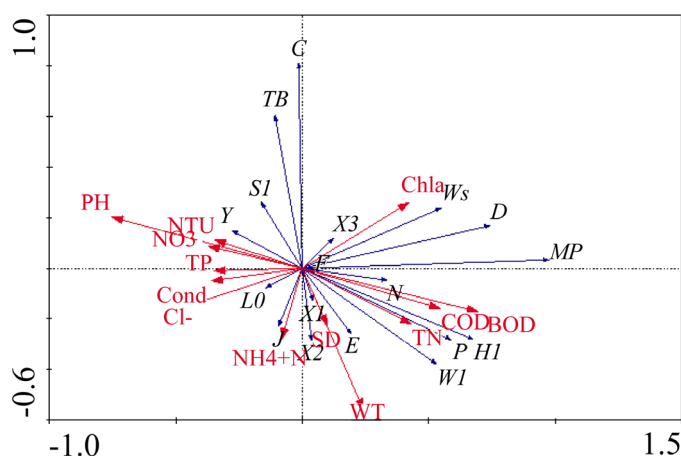


Figure 3. RDA analysis of functional groups and environmental factors

图 3. 功能群与环境因子的 RDA 分析

3. 水质评价与讨论

根据对三江自然保护区浮游植物的采集鉴定, 对浮游植物做出丰度、生物量、香浓威纳指数、均匀度指数等分析。丰度代表群落内物种数目的多少; 生物量是指某一时间单位面积或体积栖息地所含一个或一个以上生物种, 或所含一个生物群落中所有生物种的总个体数或总干重; 香浓威纳指数中, 包含 2 个成份: 1、种数; 2、各种间个体分配的均匀性。各种之间, 个体分配越均匀, H 值越大。如果每一个个体都属于不同的种, 多样性指数就越大[5]; 如果每一个体都属于同一种, 则其多样性指数就最小。Pielou 均匀度也称为物种相对多度, 是指某一群落或生境中全部物种个体数目的分配状况[6]。当一个地区所有物种都有同样数量的个体时, 可以说那里的物种均匀度高; 相反, 如果某些物种的个体很多, 另一些物种的个体却非常少, 那么该地区的物种均匀度就低。一般来说, 某个单一物种的种群如果很大, 只能代表其遗传多样性比较高, 不能表明它的物种多样性也大。因为单一物种种群如果过大, 某些情况下还可能排挤其他物种种群, 使区域内的物种多样性总量减少。因此, 物种均匀度的高低与物种多样性的大小往往是成正比的。

根据 Shannon-Weaver 指数和 Pielou 均匀度指数的评价标准对各采样点作出评价, 根据 Shannon-Weaver 指数评价标准中(见表 3), 7#、9#、11#和 13#采样点处于中度污染, 其余各采样点均处于轻污染或无污染的状态, 平均值为 3.21; 根据 Pielou 均匀度指数评价标准中, 1#、2#、4#、7#、9#和 16#采样点处于中度污染状态, 13#采样点处于重度污染状态, 其余各采样点都处于轻污染或无污染状态;

综合这两种指数的评价标准可以看出, 13#采样点的污染程度较严重, 7#和 9#采样点也处于中度污染状态, 但从平均值来看三江自然保护区整体水质表现为轻度污染或无污染状态。

Table 3. Diversity index evaluation criteria

表 3. 多样性指数评价标准

指数	污染指标		
Shanno-Weaver 多样性指数(H')	0~1 重污染	1~3 中污染	>3 轻污染或无污染
Pielou 均匀度指数(J')	0~0.3 重污染	0.3~0.5 中污染	0.5~0.8 轻污染或无污染

结合三江自然保护区各采样点生境表(表 1)和各采样点理化因子表(表 4)分析可知, 退耕示范区周边都是农田, 水体营养盐含量较高, 浮游植物无论从丰度还是生物量上看都处于较高水平; 6#乌苏里江干流采样点从氮磷及叶绿素含量上可以看出水体浮游植物较少; 7#抓吉湿地叶绿素、总氮含量较高, 生物多样性也处于较高水平; 8#别拉洪、9#别拉洪水文站采样点水体泥沙多, 浊度很高, 温度低等特点, 水体藻类多以硅藻门为主; 10#大力加湖、11#大苇塘采样点周边长有塔头、芦苇、小叶樟等水生植被, 对水体氮磷起到一定的去除效果, 浮游植物多样性处于一般水平; 12#海清采样点理化因子中叶绿素、总磷含量较低故而浮游植物丰度和生物量水平并不高; 13#黑龙江采样点理化因子中氮磷含量, 无水生植被对氮磷的吸收, 水体对沉积物降解缓慢, 污染最严重; 14#浓江河采样点上游农田废水污染, 牛羊畜牧等复杂生境, 水体浊度较大, 流速较快, 溶解氧水平较高, 浮游植物多为耐污种类, 叶绿素指标处于较低状态; 15#清水河大桥采样点水体流动较快, 加之春季水体温度较低, 浮游植物多为耐低温种类; 16#四合门前河采样点岸边有塔头、小叶樟等水生植被, 水体为静水, 营养盐等处于较高水平, 生物多样性也较高。

Table 4. Physical and chemical factors of each sampling point in Sanjiang Nature Reserve

表 4. 三江自然保护区各采样点理化因子

	SD	WT	Cond	PH	氯离子	氨氮	硝酸根	NTU	叶绿素	TN	TP	BOD	COD
1#	30	23.48	0.144	5.99	3.617	0.668	0.665	13.5	8.7	15.53	0.16	3.16	37
2#	44	22.13	0.027	6.82	1.254	0.282	0.241	20.2	1.2	10.83	0.04	1.39	1
3#	15	20.63	0.091	7.07	2.583	0.327	0.323	14.6	2	5.23	0	0.25	5
4#	15	23.27	0.043	6.98	1.114	0.252	0.225	20.5	3.8	12.93	0.05	1.73	20
5#	65	22.32	0.036	7.13	1.179	0.227	0.138	4.6	0.8	3.65	0.16	0.46	0
6#	42	18.31	0.075	7.44	2.183	0.22	0.696	40.1	1.2	5.8	0.08	0.87	0
7#	15	21.78	0.054	6.85	1.104	0.333	0.218	12.1	10.9	7.9	0.21	0.4	1
8#	15	20.72	0.227	7.42	12.51	0.785	1.492	294.1	0.9	10.25	0.51	1.21	0
9#	13	20.5	0.231	7.51	12.42	0.774	1.223	364.7	1.4	11.05	0.54	0.32	0
10#	36	20.04	0.098	7.63	2.887	0.28	0.35	32.7	5.8	4.23	0.12	0.84	21
11#	80	25.85	0.193	7.46	8.195	0.592	0.54	3.8	4	4.93	0.05	0.27	4
12#	30	19.89	0.082	7.75	2.138	0.206	0.768	67.6	1.2	8.18	0.1	0.81	0
13#	15	18.46	0.112	7.82	2.664	0.211	0.724	90.5	4.3	5.5	0.19	0.49	0
14#	22	21.97	0.178	6.87	9.97	0.567	1.708	172.1	0.1	10.1	0.68	1.22	0
15#	15	22.77	0.217	7.48	9.16	0.603	0.992	120.4	0.4	9.93	0.24	1.09	0
16#	15	24.03	0.163	7.57	5.068	0.531	0.511	126.1	11.4	9.55	0.28	0.71	0

4. 结果

通过春季的调查, 三江自然保护区春季浮游植物的功能群主要以 MP 和 Y 功能群中硅藻门的种类为

主, 在春季由于温度比较低, 水体中的藻类主要以耐低温种类为主[7], 故而硅藻门的藻类占绝对优势。春季水体温度低, 透明度较大, 水体中营养盐较为匮乏, 水体较不稳定。功能群 Y 代表牧食强度低的所有水体[8]。功能群 MP 主要由短小舟形藻类组成, 英吉利舟形藻、偏肿桥弯藻、多形丝藻等耐低温的种类构成[8]。功能群 WS 代表富腐殖质的池塘或暂时形成的小水体[9][10], 它们是中性或碱性的。功能群 W1 表示池塘或临时形成的水体[11], 该水体从农田或污水中接收有机物, 并且耐高生物耗氧, 对扰动敏感。功能群 C 代表混合、中小型、耐低碳、低光照、对低硅敏感的水体[12]。功能群 D 代表浅而浑浊、耐受扰动、对低营养盐敏感的水体[13]。

根据多样性指数分析结果, 应即时对 1#、2#、4#、7#、9#、11#、13#和 16#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, 三江自然保护区由于不同支流间地形地貌差异、农业生产和污染背景值差异往往导致支流浮游植物结构及种类差异较大。因此, 针对不同区域的主要污染物种类和水文、水动力条件, 采取更具有针对性的水华预测与防控措施十分必要。

参考文献

- [1] Reynolds, C.S. (2010) Phytoplankton Assemblages and Their Periodicity in Stratifying Lake Systems. *Ecography*, **3**, 141-159. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.1980.tb00721.x>
- [2] Grime, J.P. (1977) Evidence for the Existence of Three Primary Strategies in Plants and Its Relevance to Ecological and Evolutionary Theory. *American Naturalist*, **111**, 1169-1194. <https://doi.org/10.1086/283244>
- [3] 崔花淑, 朴正顺, 申晓明, 等. 黑龙江三江保护区的野生动物资源[J]. 野生动物学报, 1999(6): 8-9.
- [4] 周洁敏. 对黑龙江三江国家级自然保护区的评价[J]. 林业资源管理, 2001(5): 58-64.
- [5] 袁家辉, 孙常乐. 浮游植物评价颍河水体污染研究[J]. 阜阳师范学院学报(自然科学版), 2004, 21(3): 46-49 + 61.
- [6] 胡晓红, 陈椽, 李银燕, 向刚, 刘美珊. 以浮游植物评价百花湖水体污染及富营养化[J]. 贵州师范大学学报(自然科学版), 1999(4): 1-7.
- [7] 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.
- [8] 杨毕铖, 陈章飞, 戴红, 韩朝国, 颜露露. 厦门湾浮游植物分布现状和水质状况评价[J]. 海洋开发与管理, 2018, 35(9): 88-93.
- [9] 梁辉朝, 吕俊. 桂林青狮潭水库浮游藻类状况及水质评价[J]. 广西水利水电, 2018(5): 60-63.
- [10] 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>
- [11] Kruk, C., Mazzeo, N., Lacerot, G., et al. (2002) Classification Schemes for Phytoplankton: A Local Validation of a Functional Approach to the Analysis of Species Temporal Replacement. *Journal of Plankton Research*, **24**, 901-912. <https://doi.org/10.1093/plankt/24.9.901>
- [12] 杨丽, 张玮, 尚光霞, 张军毅, 王丽卿, 魏华. 淀山湖浮游植物功能群演替特征及其与环境因子的关系[J]. 环境科学, 2018, 39(7): 3158-3167.
- [13] 王徐林, 张民, 殷进. 巢湖浮游藻类功能群的组成特性及其影响因素[J]. 湖泊科学, 2018, 30(2): 431-440.