

射阳湖浮游植物群落特征及其 与环境因子相关性

徐 明¹, 许静波¹, 徐剑斌¹, 赵家伟¹, 李一平², 唐春燕²

(1. 江苏省泰州引江河管理处, 江苏 泰州 225321; 2. 河海大学环境学院, 江苏 南京 210098)

摘要:于 2015–2017 年对射阳湖浮游植物群落结构及水质指标进行了逐月监测,运用藻类生物学指标等对射阳湖营养状态进行评价,并且基于相关性分析法揭示浮游植物与水环境因子之间的响应关系。相关性分析结果表明水温、透明度、DO 和 COD_{Mn} 是影响射阳湖浮游植物群落丰度的主要水质指标,pH 和 Chl-a 是影响射阳湖浮游植物群落多样性的主要水质指标。

关键词:群落结构; 浮游植物; 富营养化; 环境因子; 射阳湖

中图分类号:X55

文献标识码:A

文章编号:1007-7839(2021)12-0020-04

Characteristics of phytoplankton community and its correlation with environmental factors in Sheyang Lake

XU Ming¹, XU Jingbo¹, XU Jianbin¹, ZHAO Jiawei¹, LI Yiping², TANG Chunyan²

(1. Jiangsu Taizhou Leading River Administrative Office, Taizhou 225321, China;

2. College of Environment, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: Monthly monitoring of phytoplankton community structure and water quality indicators in Sheyang Lake was conducted from 2015 to 2017. Algae biological indicators were used to evaluate the nutritional status of Sheyang Lake, and the response relationship between phytoplankton and water environmental factors was revealed based on correlation analysis. The correlation analysis results showed that water temperature, transparency, DO and COD_{Mn} were the main water quality indexes affecting the abundance of phytoplankton community in Sheyang Lake, and pH and Chl-a were the main water quality indexes affecting the diversity of phytoplankton community in Sheyang Lake.

Key words: community structure; phytoplankton; eutrophication; environmental factors; Sheyang Lake

浮游植物的群落结构与周边水质状况密切相关,同时其生物量的动态变化又能灵敏地反映水环境的变化规律^[1],随营养水平和盐度等环境条件不同,在形态、结构和种群组成上存在较大差异,由此对水环境变化具有重要的指示作用^[2]。

近年来,关于浮游植物群落结构及其时空分布已有较多研究进展,重点包括了群落结构特征、群落演替规律以及与水环境因子的响应关系等^[3],如刘川等^[4]通过冗余分析得出水温、电导率、pH 值、

COD_{Mn} 、氨氮和总磷是影响青龙湖浮游植物群落结构的主要环境因子。马迎群等^[5]对嘉兴南湖的 7 条主干河流和主要出入湖口共 16 个样点的浮游植物进行分析,表明浮游植物的区域分布差异明显。张春梅等^[6]对南水北调中线干渠 11 个样点进行采样调查,通过多元线性回归分析显示水温和营养盐是影响群落结构的关键因素。

里下河腹地处于长江、淮河两大水系交汇地带,主要由射阳湖、大纵湖等 41 个零星分散的湖荡

收稿日期:2021-07-01

基金项目:江苏省水利科技项目(2020035)

作者简介:徐明(1965—),男,高级工程师,主要从事河湖管理保护和水利工程项目管理工作。E-mail:136263128@qq.com

及众多的圩区组成。由于里下河腹地地面高程较低,河网湖荡密布,随着社会经济的发展面临严重的面源污染和湿地功能退化等问题^[7]。本文选取里下河腹地最大湖泊—射阳湖,开展为期两年的浮游植物及水质因子的逐月监测,系统分析射阳湖浮游植物群落结构、优势种群、丰度、物种多样性和均匀度的时空特征,利用相关性分析法探究浮游植物与水质因子之间的相关度,评价湖泊污染程度和富营养程度,以期射阳湖以及里下河腹地的水资源合理开发与生态系统保护提供科学依据。

射阳湖位于江苏省扬州市宝应县、淮安市淮安区及盐城市建湖县、阜宁县交界处,南北宽约28 km,东西长约20 km,湖泊保护范围面积为127.384 km²,是里下河腹部地区湖泊群中保护面积最大的湖泊。射阳湖是一宽浅蝶形洼地,周边高程为3~5 m,中部地区高程为1.5~3 m^[8],在研究期间(2016年9月至2017年8月)平均水深1.79 m,夏季丰水期水深为1.95 m。射阳湖周边地区河网密集,纵横交错,是苏北著名的水网圩区,具有调蓄洪水、渔业养殖、供水和旅游等综合功能。

1 采样与分析方法

1.1 采样点布设及样品采集处理

本研究在射阳湖共布设5个具有代表性的调查站点(图1,用#1~#5表示)。于2015年10月至2017年8月每月一次进行采样,监测指标为水质指标(水温、透明度、浊度、电导率、pH、DO、NH₃-N、COD_{Mn}、TP、TN和Chl-a)和浮游植物种类、生物量。

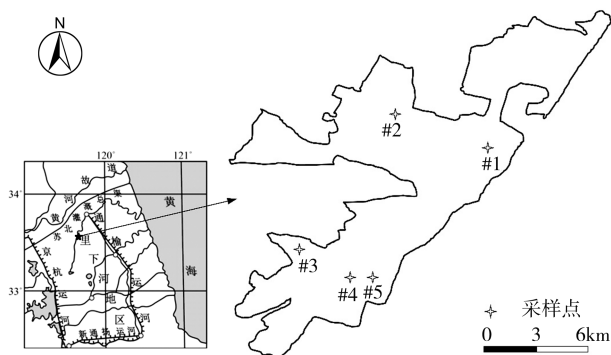


图1 研究区域及监测点位布置

(1) 浮游植物的采集与鉴定

浮游植物定量样品用采水器在水体表层0.5 m处采集1 L水样,加入15 mL鲁哥试剂以固定,静置24 h后浓缩至25~35 mL。用0.1 mL浮游植物计数框在10×40倍光学显微镜下进行镜检,根据文献进行分类鉴别,并计算浮游植物细胞数量^[9]。

(2) 水质因子测定

水质因子的取样测定与浮游植物样品的采集同步进行,水质样品的采集和分析依据《地表水环境质量标准》(GB3838—2002)中的规定。

1.2 数据处理和统计分析

(1) 浮游植物生态学特征指数计算方法

采用浮游植物群落的优势度指数(Y)、藻类丰度(D)、多样性指数(H , Shannon - Wiener index)和均匀度指数(J , Pielou)对射阳湖水体的浮游植物生态学特征进行评价^[10]。

浮游植物优势种依据其优势度值(Y)确定:

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

式中: n_i 为第 i 种的个体总数; N 为所有浮游植物总个数; f_i 为第 i 种藻类在各站点出现的频率; $Y > 0.02$ 的种类为优势种。

多样性指数(H)确定:

$$H = - \sum_{i=1}^s \frac{n_i}{N} \log_2 \frac{n_i}{N} \quad (2)$$

H 与水质的关系为: $H > 3$,轻污染或无污染; $1 < H \leq 3$,中污染; $H \leq 1$,重度污染。

均匀度指数(J)确定:

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

式中: S 为站点中浮游植物总种数; J 与水质的关系为: $J > 0.5$,轻污染或无污染; $0.3 < J \leq 0.5$,中污染; $0 < J \leq 0.3$,重污染。

根据藻类丰度(D)评价湖泊富营养化状态: $D \leq 10 \times 10^6$ cell/L,贫营养状态; $10 \times 10^6 < D \leq 40 \times 10^6$ cell/L,中营养状态; $40 \times 10^6 < D \leq 80 \times 10^6$ cell/L,中度富营养状态; $80 \times 10^6 < D \leq 100 \times 10^6$ cell/L,富营养状态; $D \geq 100 \times 10^6$ cell/L,重度富营养状态^[11]。

(2) 综合营养状态指数法

综合营养状态指数计算公式为

$$TLI(\Sigma) = \sum_{j=1}^m W_j \cdot TLI(j) \quad (4)$$

式中: $TLI(\Sigma)$ 为综合营养状态指数; W_j 为第 j 种参数的营养状态指数的相关权重; $TLI(j)$ 为代表第 j 种参数的营养状态指数。选用Chl-a、透明度、TP、TN和COD_{Mn}5项参数,根据《湖泊(水库)富营养化评价方法及分级技术规定》计算 TLI 。

以Chl-a作为基准参数,则第 j 种参数的归一化的相关权重计算公式为

$$W_j = \frac{r_{ij}^2}{\sum_{j=1}^m r_{ij}^2} \quad (5)$$

式中: r_{ij} 为第 j 种参数与基准参数 Chl-a 的相关系数; m 为评价参数的个数。

2 结果与讨论

2.1 浮游植物群落结构特征及优势种分析

射阳湖在调查期间共记录浮游植物 8 门, 103 种(属), 其中绿藻门的种类最多, 有 41 种; 其次硅藻、蓝藻和裸藻种类分别为 30、17 和 9 种; 黄藻、甲藻、金藻和隐藻均小于 5 种(图 2)。

以优势度 $Y > 0.02$ 为标准, 统计分析表明, 浮游植物的主要优势种为隐藻门的啮噬隐藻(*Cryptomonas erosa*), 裸藻门的扁裸藻(*Phacus sp.*), 绿藻门的小球藻(*Chlorella sp.*)、蛋白核小球藻(*Chlorella pyrenoidosa*)、卵囊藻(*Oocystis sp.*)、螺旋弓形藻(*Schroederia spiralis*)、四尾栅藻(*Scenedesmus quadricauda*)和角星鼓藻(*Starurastrum sp.*)等。

射阳湖浮游植物种类组成具有明显的时空变化特征。夏季(25 种)和秋季(24 种)浮游植物种类多于春季(19 种)和冬季(15 种), 其中 4#样点浮游植物的年平均种类最多为 25 种, 而 3#样点浮游植物的种类最少为 17 种。

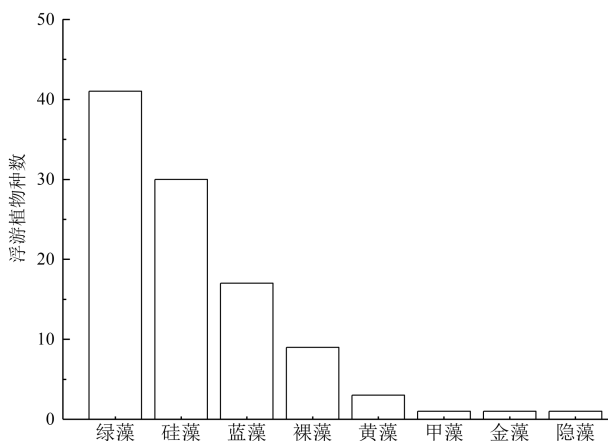


图2 射阳湖浮游植物种类组成

2.2 浮游植物丰度变化分析

2015 年 9 月至 2017 年 8 月调查期间射阳湖各采样点浮游植物的丰度波动范围为 $0.91 \times 10^6 \sim 7.26 \times 10^6$ cells/L, 平均丰度为 3.34×10^6 cells/L, 说明射阳湖整体处于贫一中营养状态(图 3)。浮游植物季节性波动趋势明显, 每年 7—8 月份, 浮游植物平均丰度呈现出最大值, 随后略有下降, 到 11—12 月份波动上升; 1—2 月由于冬季气温较低, 浮游

植物的生长繁殖受到抑制, 丰度明显低于其他月份; 随后随着气温回升, 浮游植物丰度缓慢上升, 比如 2016 和 2017 年 7 月浮游植物丰度比当年 1 月份分别增加了 5.13 和 3.80 倍, 由此可见温度是影响浮游植物丰度的重要因素。

从浮游植物丰度的空间变化上看, 2#样点浮游植物的丰度年平均值最高(5.33 cells/L), 其次为 5#样点(3.74 cells/L), 3#样点丰度年平均值最低(1.69 cells/L), 年变化范围分别为 $0.17 \times 10^6 \sim 15.99 \times 10^6$ cells/L、 $1.84 \times 10^6 \sim 6.71 \times 10^6$ cells/L 和 $0.15 \times 10^6 \sim 5.58 \times 10^6$ cells/L。射阳湖各采样点浮游植物丰度的季节变化基本一致, 最高值除了 5#点位出现在春季(5—6 月)以外, 其他点位均出现在夏季(6—8 月), 最低值一般出现在 1—2 月份。浮游植物的夏季高峰主要是受蓝藻门的湖泊伪鱼腥藻、两栖颤藻、平裂藻、束缚色球藻、微囊藻、席藻、细小平裂藻等影响。

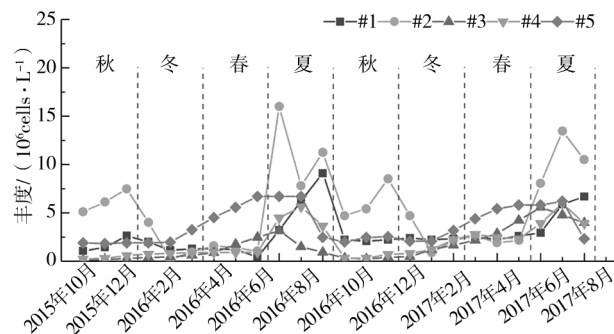


图3 2015 年 9 月至 2017 年 8 月各采样点浮游植物丰度变化

2.3 浮游植物多样性及均匀度季节性变化

射阳湖浮游植物多样性指数年平均值约 2.60, 从而可以判断属于中度污染水体。从浮游植物的均匀度来看, 各样点的年平均值为 0.84, 指示该湖泊为轻度污染水体。

各采样点浮游植物的多样性指数存在较明显的季节性变化(图 4)。5#样点浮游植物的多样性指数年均值最高为 3.08, 处于轻污染状态, 3#样点多样性指数年均值最低为 2.04, 处于中污染状态。由于 3#样点位于村镇河道入射阳湖交汇处附近, 受农业和生活污水影响较大, 污染程度较重, 所以 3#样点的浮游植物多样性相对较低。各采样点多样性指数平均值在冬季(2.41)和夏季(2.43)较低, 污染程度较为严重, 春季(2.76)和秋季(2.82)则相对较好。1#、2#、3#、4#和 5#样点的均匀度指均大于 0.5 (图 5), 其中 3#、4#、5#样点浮游植物均匀度均为秋季最高, 春季最低, 1#样点和 2#样点均匀度最高值分别出现在夏季(0.92)和春季(0.86), 最低值分别

出现在冬季(0.63)和秋季(0.74)。总体来说,射阳湖 5 个采样点的均匀性和多样性指数表明水体处于轻~中度污染状态,说明射阳湖浮游植物的物种多样性比较丰富,其中 5#样点多样性指数最高,4#采样点的均匀度最高。

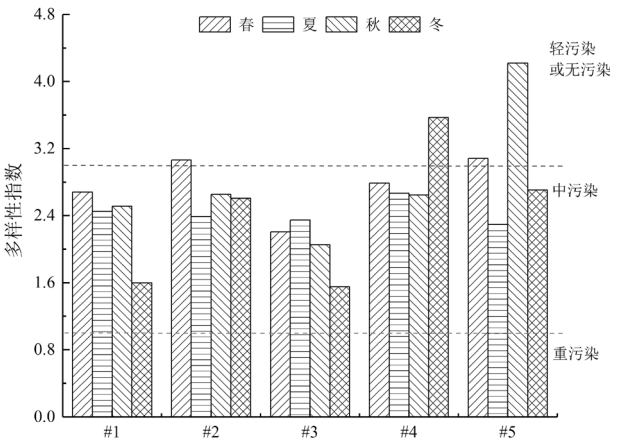


图 4 射阳湖浮游植物群落多样性指数时空变化

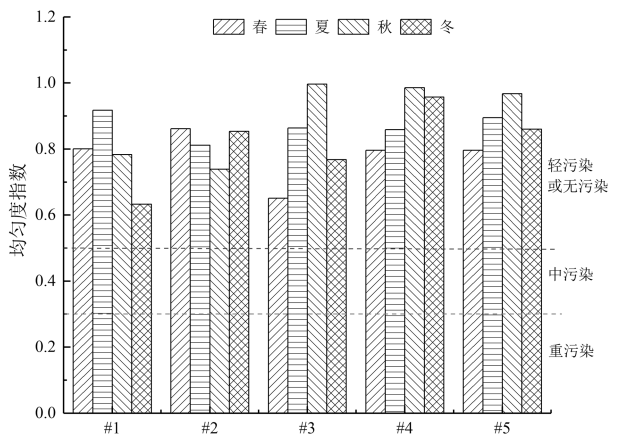


图 5 射阳湖浮游植物群落均匀度指数时空变化

2.4 浮游植物与环境因子的关系

选用 Chl-a、透明度、TP、TN 和 COD_{Mn} 5 项指标,根据综合营养状态指数法计算射阳湖营养状态,结果表明,2015 年 9 月至 2017 年 8 月期间,综合营养指数(ΣTLI)值范围为 52.52~57.39,整体属于轻度

富营养化状态,与上文浮游植物生物学评价指标结果基本一致。由此可见,射阳湖的水生态环境的管理及治理工作仍需进一步加强。

射阳湖水质指标(水温、透明度、pH、DO、NH₃-N、COD_{Mn}、TP、TN 和 Chl-a)与浮游植物群落指数间的 Pearson 相关关系见表 1。结果表明,水温、透明度、DO 和 COD_{Mn} 与浮游植物丰度在 0.01 级别显著相关,pH 和 Chl-a 与浮游植物多样性在 0.05 级别显著相关。与已有研究中影响长江中下游典型湖泊中藻类结构的重要环境因子为温度、透明度、水位、营养盐和 pH 的结论基本一致^[12]。主要是由于浮游植物细胞的代谢过程大多为受酶活性的影响的酶促反应,而温度对酶活性有极大影响,不同藻类在温度适应性上存在差异,这导致优势物种随温度的变化而变化^[13]。水体透明度通过影响浮游植物的光合作用和氮磷循环从而影响浮游植物群落结构,光照强度提供了部分浮游植物生长代谢所需的能量,而总悬浮固体浓度的变化影响浮游植物对氮和磷的吸收^[14]。

同为里下河腹地典型湖泊的大纵湖的浮游植物群落参数与水温、透明度、浊度和总氮显著相关^[15]。与部分长江中游和下游湖泊不同,武山湖影响浮游植物丰度和生物量的主要营养元素是磷^[16],骆马湖影响浮游植物群落年际变化的环境因子总氮和氟离子浓度^[17],而射阳湖浮游植物结构特征与总氮和总磷相关性均不高,与 COD_{Mn} 相关性较高,原因是夏季降雨携带的固体颗粒物质与周围田地农药残留有机物随地表径流被带入射阳湖,从而与浮游植物丰度有较高相关性。

3 结 论

(1)2015—2017 年期间在射阳湖 5 个采样点,共鉴定到浮游植物 8 门,103 种,以绿藻、硅藻、蓝藻为主,分别为 41、30 和 17 种。射阳湖浮游植物种类

(下转第 27 页)

表 1 射阳湖水质指标与浮游植物群落指数之间 Pearson 相关性分析

	水温	透明度	pH	DO	NH ₃ -N	COD _{Mn}	TP	TN	Chl-a
丰度	0.789 **	0.718 **	-0.558	-0.712 **	0.318	0.723 **	0.525	0.491	0.547
均匀度	-0.097	-0.148	0.123	0.054	-0.025	-0.034	-0.310	-0.351	0.018
多样性	0.269	0.559	-0.711 *	-0.308	0.048	0.204	-0.369	-0.018	0.609 *

** 表示在 0.01 级别(双尾)相关性显著;* 表示在 0.05 级别(双尾)相关性显著。

行数据,此次实践取得了较好效果,为今后同类工艺的污水处理厂提标改造提供了借鉴。

参考文献:

- [1] 郭海娟,马放,沈耀良. C/N 比对反硝化除磷效果的影响[J]. 环境科学学报, 2005, 25(3):367-371.
- [2] 陈贵生. 基于 ORP 的 Carrousel 氧化沟脱氮除磷联动调控生产性试验研究[D]. 重庆:重庆大学, 2013.

- [3] 张自杰,林荣忱,金汝霖. 排水工程(第四版)下册[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2000.
- [4] 于静洁,邓宏,郑淑平,等. 氧化沟工艺应用研究进展[J]. 工业水处理, 2013, 33(6):1-5.
- [5] 苑丹丹,于静洁,苏凯凡,等. 改良型氧化沟内氮的质量平衡及转化途径分析[J]. 天津城建大学学报, 2016, 22(3):200-205.

(上接第 23 页)

组成具有明显的季节性变化特征,夏季和秋季种类明显多于春季和冬季。

(2)射阳湖各采样点浮游植物的丰度波动范围为 $0.91 \times 10^6 \sim 7.26 \times 10^6$ cells/L,平均丰度为 3.34×10^6 cells/L,表明射阳湖处于贫—中营养状态。丰度时空变化趋势明显,夏季丰度明显上升,冬季回落,湖中心处样点浮游植物丰度明显高于湖边样点。

(3)射阳湖浮游植物物种多样性指数和均匀度年均值分别为 2.60 和 0.84,表明射阳湖处于轻—中度污染状态;综合营养指数法显示射阳湖处于轻度富营养化状态。

(4)水温、透明度、DO 和 COD_{Mn} 是影响射阳湖浮游植物群落丰度的主要水质指标,pH 和 Chl-a 是影响射阳湖浮游植物群落多样性的主要水质指标。

参考文献:

- [1] 刘凌,朱良珍,叶键,等. 张福河浮游植物群落结构及生态位特征[J]. 水资源保护, 2021, 37(3):7-12.
- [2] 赵秀侠,卢文轩,梁阳阳,等. 安徽三座通江湖泊秋季浮游植物群落结构特征及其影响因子[J]. 生态学杂志, 2021, 40(1):67-75.
- [3] 代亮亮,吕敬才,周维成,等. 3 种不同营养水平的河流浮游植物群落结构及其与环境因子的相关性[J]. 生态学报, 2021, 41(3):1242-1250.
- [4] 刘川,闫金霞,刘家乐,等. 青龙湖浮游植物群落与环境因子相关性分析[J/OL]. 人民黄河:1-6[2021-04-08]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/41.1128.tv.20210324.1317.020.html>.
- [5] 马迎群,赵艳民,迟明慧,等. 嘉兴南湖水系浮游植物群落结构及其环境影响因子[J]. 水生态学杂志, 2021, 42(2):42-48.
- [6] 张春梅,朱宇轩,宋高飞,等. 南水北调中线干渠浮游植物群落时空格局及其决定因子[J/OL]. 湖泊科

学:1-17[2021-04-08]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1331.P.20210222.1604.004.html>.

- [7] 王雅君,傅国圣,蒋陈娟,等. 江苏省里下河腹部区水质时空变化特征分析[J]. 人民长江, 2020, 51(5):68-73.
- [8] 葛伟,张婷,牛志春,等. 蟒蛇河水域浮游植物调查与水生态评价[J]. 环境监测管理和技术, 2015, 27(4):35-39, 60.
- [9] 刘凌,朱燕,李博韬,等. 基于 MBFG 分类法的长江江苏段浮游植物生物完整性评价[J]. 水资源保护, 2020, 36(4):13-20.
- [10] 郭坤,杨德国,彭婷,等. 湖北省长湖浮游植物优势种生态位分析[J]. 湖泊科学, 2016, 28(4):825-834.
- [11] 潘鸿,杨扬,唐宇宏. 惠州沙田水库浮游植物群落特征及演替研究[J]. 生态科学, 2018, 37(4):154-159.
- [12] 李胜男,熊丽萍,彭华,等. 东洞庭湖浮游藻类粒级结构组成及其关键影响因子[J]. 湖泊科学, 2020, 32(5):1508-1518.
- [13] 孙祥,朱广伟,杨文斌,等. 天目湖沙田水库浮游植物群落结构的时空异质性[J]. 环境科学, 2017, 38(10):4160-4168.
- [14] LIU X, CHEN L, ZHANG G, et al. Spatiotemporal dynamics of succession and growth limitation of phytoplankton for nutrients and light in a large hallow lake[J]. Water Research, 2021, 194(7):116910.
- [15] 张佳敏,高健,杨诚,等. 以鲢、鳙养殖为主的长江中下游武山湖浮游植物群落结构特征[J]. 湖泊科学, 2020, 32(06):1771-1783.
- [16] 徐明,许静波,唐春燕,等. 大纵湖浮游植物群落特征及其与环境因子关系研究[J/OL]. 水生态学杂志:1-10[2021-05-10]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/42.1785.x.20201130.1647.004.html>.
- [17] 张庆吉,王业宇,王金东,等. 骆马湖浮游植物演替规律及驱动因子[J]. 环境科学, 2020, 41(4):1648-1656.