

襄阳汉江国家湿地公园浮游植物群落 结构特征及其影响因素

李红海,米武娟,赵重宇,毕永红,冯德金,孔红霞,宋高飞

(中国科学院 淡水生态与生物技术国家重点实验室;水生生物研究所,武汉 430072)

摘要:为分析襄阳汉江国家湿地公园不同水文期浮游植物群落结构特征及其影响因素,于 2021 年 3 月(枯水期)和 6 月(丰水期)设置 16 个样点进行采样调查,共鉴定浮游植物 8 门 61 属 75 种,丰水期和枯水期均以硅藻门为主.浮游植物物种丰富度、香浓-维纳指数和均匀性指数在不同水文期之间的差异均显著($P < 0.05$),丰水期高于枯水期;不同水文期浮游植物群落组成差异极显著($P < 0.01$).Mantel 检验显示:高锰酸盐指数、水温、碳含量是影响枯水期浮游植物群落结构的主要环境因素,氮含量、正磷酸盐、水温、透明度是驱动丰水期浮游植物群落时空分布的主要因素.

关键词:襄阳汉江国家湿地公园;浮游植物;群落结构;环境因素

中图分类号:Q178

文献标志码:A

襄阳汉江国家湿地公园位于湖北省襄阳市城区汉江中游,包括从汉江四桥至崔家营大坝的所有水域及周边江滩,总面积为 3 894.25 hm^2 ^[1].2009 年 10 月 24 日,崔家营大坝蓄水后汉江襄阳城区段形成水库型河流.作为襄阳主城区的唯一水源地和纳污水体,其水环境状况在很大程度上影响襄阳市未来的发展^[2].因此,对襄阳汉江国家湿地公园水体水环境质量的监测显得尤为重要.

浮游植物是水域生态系统中最主要的初级生产者,启动了水域生态系统的食物网,同时也是水环境变化的直接响应者,其物种组成、群落结构和丰度的变化是反映水体生态系统的重要指标^[3].研究表明,浮游植物群落结构与营养盐、温度、光照、水动力等条件密切相关,受多种因子的共同调控^[4-6].目前关于汉江襄阳河段的研究主要集中在水质、污染物方面,部分对汉江中下游水域的研究涉及汉江襄阳河段的某个点的水生生物^[1-2,7-8].本文首次详细研究了汉江襄阳城区段襄阳汉江国家湿地公园不同水文期水体浮游植物群落的时空特征,基于多元统计分析揭示不同水文时期影响襄阳汉江国家湿地公园水域浮游植物群落结构的主要环境因素,以为襄阳汉江国家湿地公园及汉江中下游环境管理提供决策支持.

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

襄阳汉江国家湿地公园当年 11 月至来年 4 月为枯水期,5 月至 10 月为丰水期,于 2021 年 3 月(枯水期)和 6 月(丰水期)分别对襄阳汉江国家湿地公园进行了采样调查.从汉江四桥至崔家营大坝共设置 16 个采样点(图 1),采样点依次命名为 S1~S16.

1.2 水样采集与分析

通过 GPS 定位,现场使用 YSI Professional Plus 多参数仪(YSI,USA)测定水温(WT)、pH、溶解氧(DO)、

收稿日期:2021-11-09;修回日期:2022-03-05.

基金项目:国家自然科学基金(51609239);襄阳汉江国家湿地公园藻类监测项目(DZSH0710FWJC20-0099);中国博士后科学基金面上项目(2016M602394).

作者简介:李红海(1966—),男,湖北仙桃人,襄阳汉江国家湿地公园管理处高级工程师,研究方向为湿地生态保护及湿地公园建设,E-mail:1043342529@qq.com.

通信作者:宋高飞,E-mail:song@ihb.ac.cn.

氧化还原电位(ORP)和电导(SPC),通过 FL-KIT(瑞士)测定流速(Velocity),采集表层水样测定总氮(TN)、铵盐(NH_4^+-N)、硝酸盐(NO_3^--N)、总磷(TP)、磷酸盐($\text{PO}_4^{3--}\text{P}$)、高锰酸盐指数(COD_{Mn})和叶绿素 *a* (Chl.*a*),测定方法参考中华人民共和国国家标准方法,通过燃烧氧化-非分散红外吸收法利用 TOC 测定仪(Anlutikjena, multi N/C 3100)对水体中总碳(TC)、无机碳(IC)、总有机碳(TOC)进行测定。

1.3 浮游植物样品采集与分析

定性样品通过 25 # 浮游生物网采集,采用体积分数 4% 甲醛溶液固定,定量样品通过现场采集 1 000 mL 水样装于塑料样品瓶中,用鲁哥氏液固定保存,静置 48 h,通过虹吸作用抽去多余的上清液,经沉淀后定容至 30 mL,充分震荡混匀,吸取 0.1 mL 滴到浮游植物计数框上,随后用正置显微镜(Olympus CX21, Japan)在 400 倍下进行鉴定与计数,浮游植物鉴定参考文献[9-10]。

1.4 数据分析与统计

1.4.1 多样性指数计算

采用物种丰富度、香农-维纳多样性指数、均匀性指数对浮游植物群落多样性进行分析评价,利用 Past version 2.17^[11] 计算各样本物种的多样性指数^[12]。

1.4.2 统计分析

在进行统计学分析前,除 pH 外其他环境因子及物种矩阵均经过 $\lg(x+1)$ 转换及其标准化,在进行环境因子与物种的相关分析时,所有因子都进行了共线性检测。

利用主坐标分析(PCoA)对浮游植物群落组成进行相似性分析;利用相似性分析(ANOSIM)对不同类群浮游植物群落结构进行差异显著性检验;利用 Mantel test 检验对物种组成与环境因子做相关性分析,其他相关分析和作图在 R 环境下完成(version 3.6.2, <https://mirrors.tuna.tsinghua.edu.cn/CRAN/>),用到的程序包有 vegan, reshape2, ggplot2, tidyverse, corrplot, readxl。

2 结果

2.1 环境因子的变化

各采样点环境因子见附表 I。单因素方差分析显示,枯水期和丰水期的 NH_4^+-N 、TP、 $\text{PO}_4^{3--}\text{P}$ 、TC、IC、 COD_{Mn} 、WT、透明度、电导率、pH、ORP、流速均差异显著($P < 0.05$), TN、 NO_3^--N 、TOC、DO、水深、Chl.*a* 的差异不显著($P > 0.05$)。不同采样位点环境因子的变化情况如图 2 所示,结果表明,丰水期 NH_4^+-N 、 $\text{PO}_4^{3--}\text{P}$ 、WT、电导率、pH、ORP 显著高于枯水期, TP、TC、IC、 COD_{Mn} 、透明度、水深、流速显著低于枯水期。

2.2 浮游植物群落

2.2.1 浮游植物组成及密度

襄阳汉江国家湿地公园共鉴定浮游植物 8 门 61 属 75 种,其中绿藻物种种类最多,有 23 种,硅藻次之,为 16 种,蓝藻 9 种,隐藻、裸藻、甲藻、金藻、黄藻较少(图 3)。浮游植物细胞密度的变化范围为 $1.43 \times 10^5 \sim 1.44 \times 10^7 \text{ L}^{-1}$ 。

其中枯水期共鉴定浮游植物 49 种,绿藻种类最多,有 18 种,硅藻 16 种,蓝藻 5 种,隐藻、裸藻、甲藻、金藻、黄藻共 10 种;细胞密度变化范围为 $3.77 \times 10^5 \sim 3.24 \times 10^6 \text{ L}^{-1}$,平均值为 $1.11 \times 10^6 \text{ L}^{-1}$ 。丰水期共鉴定浮游植物 69 种,绿藻 26 种,硅藻 19 种,蓝藻 9 种,隐藻、裸藻、甲藻、金藻、黄藻共 15 种;细胞密度变化范围为

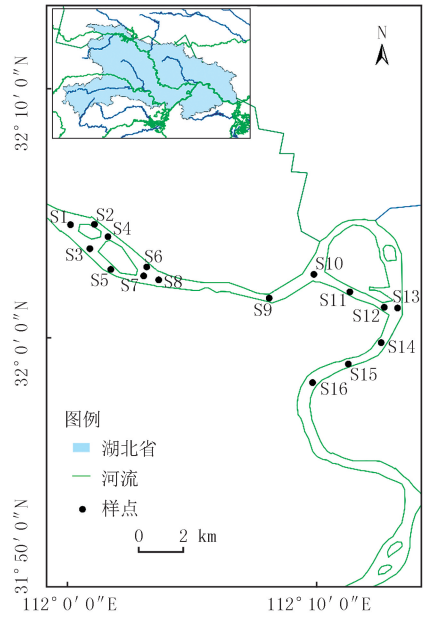


图1 采样点位图

Fig.1 Distribution of the sampling sites

$1.43 \times 10^5 \sim 1.44 \times 10^7 \text{ L}^{-1}$, 平均值为 $3.79 \times 10^6 \text{ L}^{-1}$. 枯水期相对丰水期密度较低, 但无显著差异 ($F = 3.28$, $P > 0.05$). 襄阳汉江国家湿地公园浮游植物密度最小值和最大值均出现在丰水期, 其中丰水期 S13~S16 采样点浮游植物细胞密度远高于其他位点.

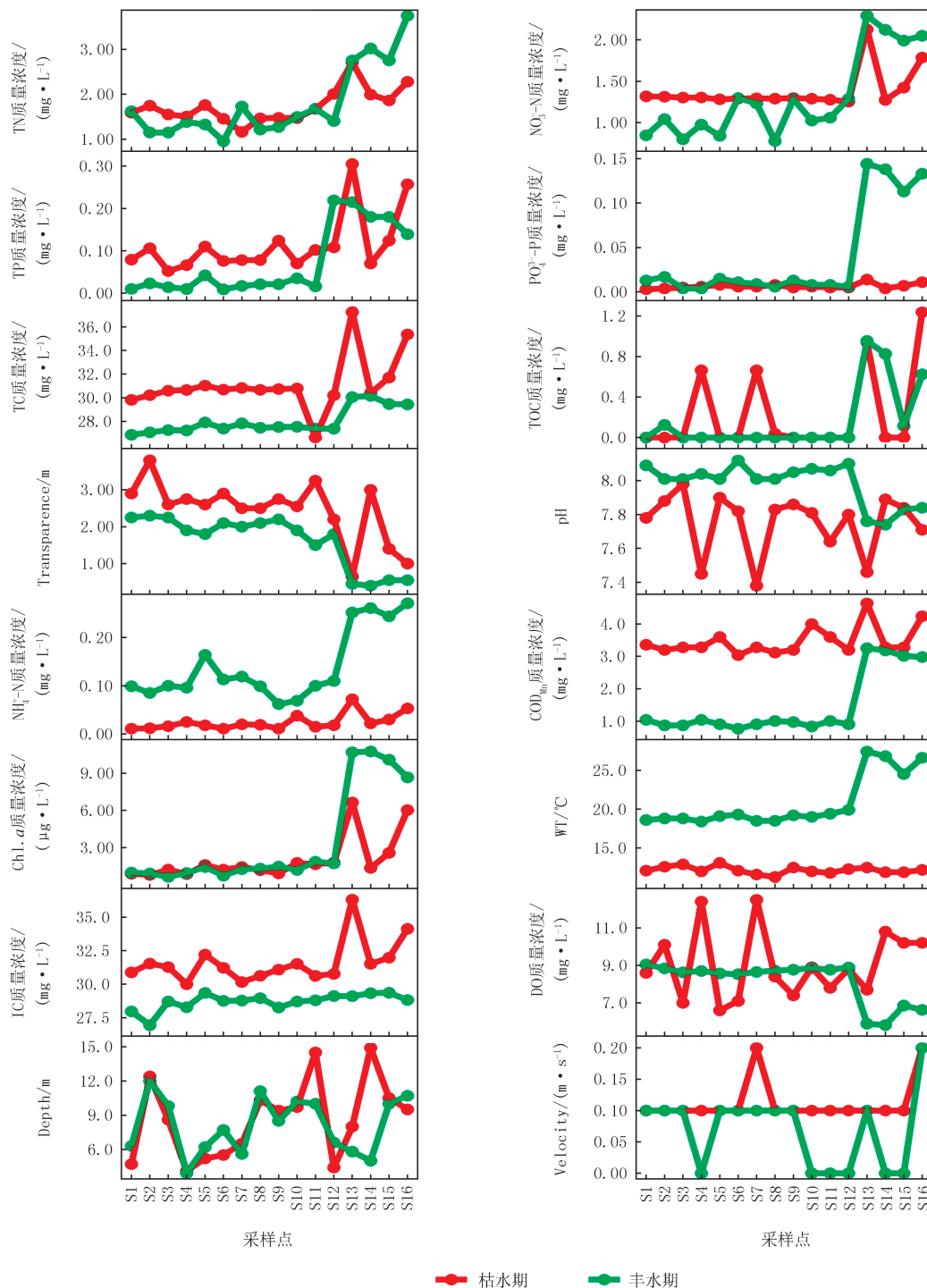


图2 汉江国家湿地公园不同水文时期各采样点环境因子状况

Fig.2 The environmental factors in Xiangyang Hanjiang national wetland park during different hydrological periods

2.2.2 浮游植物优势种

襄阳汉江国家湿地公园浮游植物枯水期以硅藻、隐藻和金藻占优势, 枯水期优势种为 5 个, 分别为小环

藻(*Cyclotella* sp.)、针杆藻(*Synedra* sp.)、隐藻(*Cryptomonas* sp.)、斜结隐藻(*Plagioselmis* sp.)、小金色藻(*Chrysochromulina parva*);丰水期以硅藻、蓝藻占优势;丰水期优势种有 7 个,分别为小环藻(*Cyclotella* sp.)、针杆藻(*Synedra* sp.)、直链藻(*Melosira* sp.)、微囊藻(*Microcystis* sp.)、微小平裂藻(*Merismopedia tenuissima*)、浮丝藻(*Planktothrix* sp.)、束丝藻(*Aphanizomenon* sp.) (分别见附表 II 加粗部分).

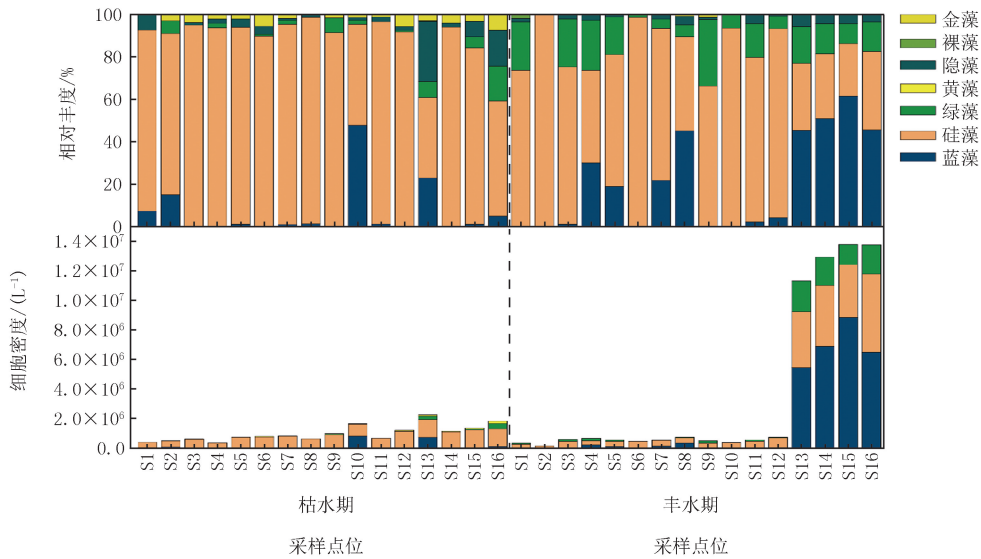


图3 襄阳汉江国家湿地公园的浮游植物相对丰度和绝对丰度

Fig.3 The relative abundance and cell density of phytoplankton at the phylum level in Xiangyang Hanjiang national wetland park

2.2.3 浮游植物 α 多样性指数

浮游植物 α 多样性指数包括物种丰富度、Shannon-Wiener 指数和均匀性指数,如图 4 所示.襄阳汉江国家湿地公园枯水期和丰水期物种数分别在 9~28 和 7~38 之间,丰水期高于枯水期,两者差异显著($F = 4.271, P = 0.046$);Shannon-Wiener 指数范围分别在 0.65~2.22 和 1.36~2.60 之间,丰水期高于枯水期,两者差异极显著($F = 25.736, P = 0.000$);均匀度分别在 0.17~0.51 和 0.24~0.65 之间,丰水期高于枯水期,两者差异极显著($F = 20.724, P = 0.000$).

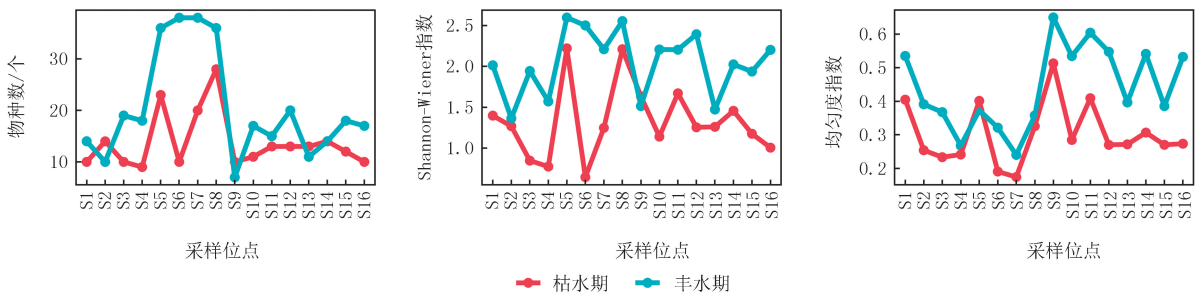


图4 襄阳汉江国家湿地公园浮游植物 α 多样性指数

Fig.4 The alpha diversity indices of phytoplankton at the phylum level in Xiangyang Hanjiang national wetland park

2.3 浮游植物群落与环境因子的关系

基于 Bray-Curtis 距离的 PCoA 分析研究了枯水期和丰水期襄阳汉江国家湿地公园浮游植物群落的差异(图 5).前两轴分别解释了浮游植物群落中 37.59%和 14.87%的总变异.此外,ANOSIM 分析显示,不同水文期对浮游植物群落组成差异显著($R = 0.322, P = 0.001$).

Mantel test 检验分析(图 6),TN($R = 0.664, P = 0.001$)、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ ($R = 0.633, P = 0.001$)、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ ($R = 0.603, P = 0.001$)、TP($R = 0.504, P = 0.001$)、 $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ ($R = 0.644, P = 0.001$)、WT($R = 0.431, P = 0.001$)、TOC($R = 0.436, P = 0.003$)、DO($R = 0.273, P = 0.003$)、透明度($R = 0.817, P = 0.001$)对所有样本浮游植物群落组成有显著相关性.在枯水期,浮游植物群落组成与 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ ($R = 0.256, P = 0.003$)、 COD_{Mn} ($R = 0.376, P = 0.001$)、WT($R = 0.552, P = 0.001$)、TC($R = 0.418, P = 0.001$)、IC($R = 0.553, P = 0.001$)具有显著的相

关性;在丰水期,浮游植物群落组成与 $TN(R=0.506, P=0.001)$ 、 $NO_3^- - N(R=0.557, P=0.001)$ 、 $NH_4^+ - N(R=0.746, P=0.001)$ 、 $PO_4 - P(R=0.758, P=0.001)$ 、 $WT(R=0.611, P=0.001)$ 、透明度($R=0.506, P=0.003$)具有显著相关性.

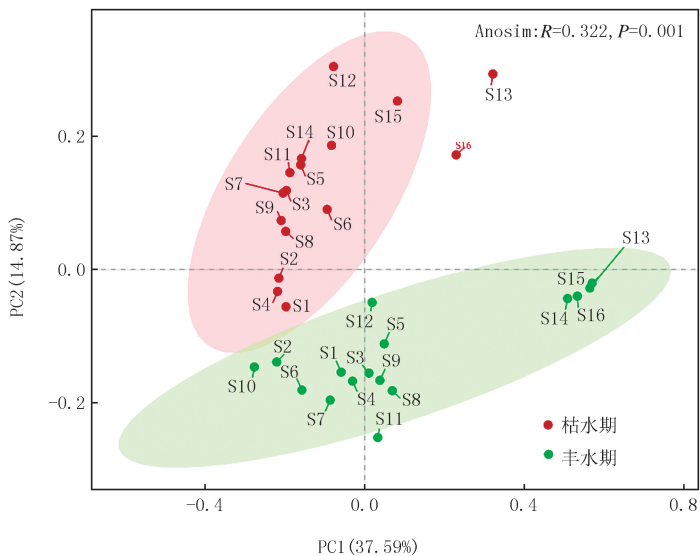


图5 襄阳汉江国家湿地公园枯水期和丰水期浮游植物PCoA和Anosim分析

Fig. 5 PCoA and Anosim of phytoplankton communities in Xiangyang Hanjiang national wetland park

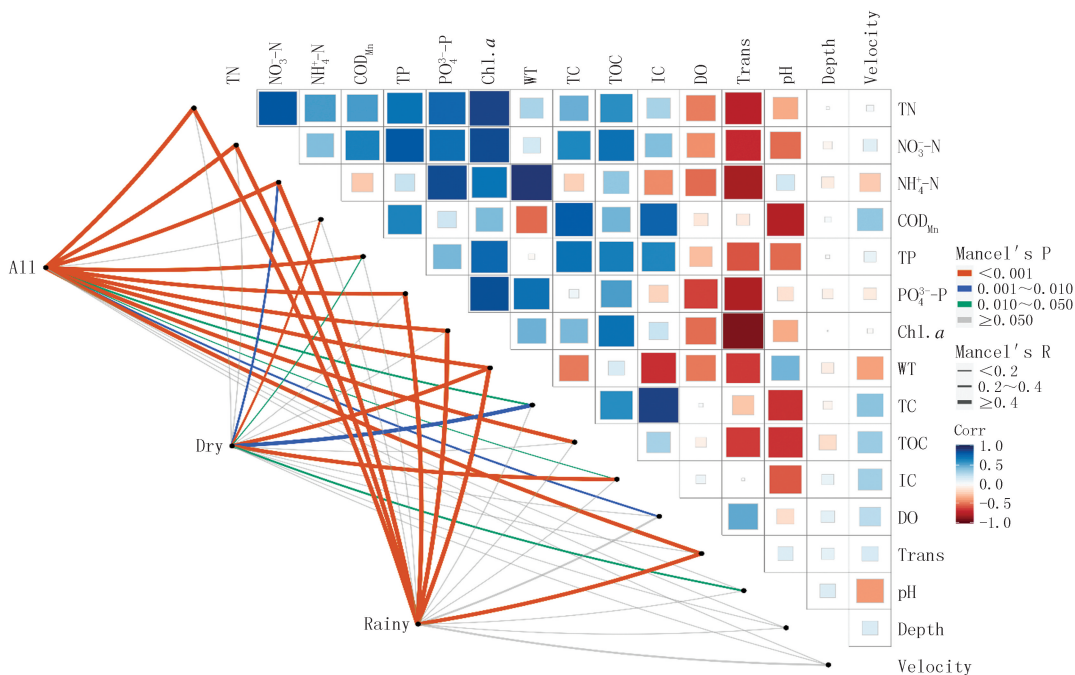


图6 浮游植物群落组成的环境驱动因素

Fig. 6 Environmental drivers of phytoplankton community composition

3 讨论

3.1 襄阳汉江国家湿地公园不同水文时期浮游植物群落结构特征

在调查期间,襄阳汉江国家湿地公园在枯水期和丰水期均以硅藻为优势,原因可能是本研究中枯水期和

丰水期的大部分位点的水温都低于 20 ℃, 温度较低时硅藻、隐藻会成为主要的优势类群, 而绿藻、蓝藻较硅藻更适宜高温环境^[14]. 襄阳汉江国家湿地公园在崔家营航电枢纽工程正式运行后基本形成水库型河流, 由于人为调蓄作用并没有丰水期水位上涨及枯水期退水现象, 也没有非常明显的水质类别变动^[7]. 加之温度变化幅度较小, 因此丰水期细胞密度高于枯水期, 但无显著差异. 枯水期和丰水期襄阳汉江国家湿地公园虽然没有明显的水位改变, 但由于降雨、地表径流、支流汇入等作用却在一定程度上引起了营养物质交换和改变^[2], 使得浮游植物群落组成差异显著, 优势类群在丰水期和枯水期仅有小环藻和针杆藻这 2 种是共有物种, 可见优势种的季节变化非常显著.

3.2 环境因子对浮游植物群落结构的影响

襄阳汉江国家湿地公园水体与入河支流形成了复杂的水库型河流生态系统, 进而受各种水文与理化环境因素的影响, 导致浮游植物的群落结构在丰水期和枯水期差异显著.

枯水期的主要影响因子包括高锰酸盐指数、水温、碳含量等. C 和 P 作为浮游植物的基础元素, 是植物生长所必需的. 枯水期浮游植物群落组成与 TC 及 IC 具有显著相关性, 这与已有报道一致^[16]. 较高的养分适宜小金色藻等喜高有机质含量的物种生长^[15], 因此, 枯水期的优势种除硅藻外主要为隐藻、小金色藻.

丰水期的氮含量、正磷酸盐、水温、透明度是驱动丰水期浮游植物群落生态分布的主要环境因素. 营养物质是浮游植物生长繁殖所必需的, 浮游植物通过大量吸收水体中 N、P 等营养物质使其迅速增殖. 且不同的物种和功能群对不同营养盐的吸收率和敏感性不同, 不同的营养条件下产生不同的优势种和功能群^[17-18]. 襄阳汉江国家湿地公园水体在与小清河、唐白河交汇后 N、P 含量迅速增加, 导致浮游植物密度急剧上升, 优势种为蓝藻, 其他样点优势种为硅藻. 丰水期水位波动以及低透明度等条件会影响浮游植物生长并直接增加浮游动物的摄食压力, 从而直接或间接影响浮游植物的群落结构.

4 结 论

(1) 襄阳汉江国家湿地公园枯水期共鉴定浮游植物 49 种, 丰水期共鉴定浮游植物 69 种, 在不同水文期均以硅藻门为主. (2) 浮游植物群落结构在不同水文期差异显著, 枯水期较丰水期密度低. (3) 高锰酸盐指数、水温、总碳含量是影响枯水期浮游植物群落结构的主要环境因素, 氮含量、正磷酸盐、水温、透明度是驱动丰水期浮游植物群落生态分布的主要环境因素.

附 录

附表 I、II 见电子版(DOI:10.16366/j.cnki.1000-2367.2023.05.014).

参 考 文 献

- [1] 李红海, 夏梦雨, 冯德金. 襄阳汉江国家湿地公园水质分析及植物分布与水质的关系[J]. 江汉大学学报(自然科学版), 2019, 47(6): 572-576. LI H H, XIA M Y, FENG D J. Water quality analysis of Hanjiang national wetland park in Xiangyang and its relationship with plants distribution[J]. Journal of Jiangnan University(Natural Science Edition), 2019, 47(6): 572-576.
- [2] 王文静, 周才金, 聂真真, 等. 汉江襄阳河段主要污染物通量分析[J]. 水利水电快报, 2021, 42(3): 68-73. WANG W J, ZHOU C J, NIE Z Z, et al. Flux analysis of main pollutants in Xiangyang section of Hanjiang River[J]. Express Water Resources & Hydropower Information, 2021, 42(3): 68-73.
- [3] RICHARDSON T L. Mechanisms and pathways of small-phytoplankton export from the surface ocean[J]. Annual Review of Marine Science, 2019, 11: 57-74.
- [4] ZHANG M, SHI X L, YANG Z, et al. Long-term dynamics and drivers of phytoplankton biomass in eutrophic Lake Taihu[J]. Science of the Total Environment, 2018, 645: 876-886.
- [5] 宋高飞, 朱宇轩, 米武娟, 等. 武汉市湖泊浮游动物群落特征及其影响因素[J]. 河南师范大学学报(自然科学版), 2022(3): 135-142. SONG G F, ZHU Y X, MI W J, et al. Characteristics of zooplankton community and their influencing factors in lakes of Wuhan[J]. Journal of Henan Normal University(Natural Science Edition), 2022(3): 135-142.
- [6] VOGT R J, SHARMA S, LEAVITT P R. Decadal regulation of phytoplankton abundance and water clarity in a large continental reservoir by climatic, hydrologic and trophic processes[J]. Journal of Great Lakes Research, 2015, 41: 81-90.
- [7] 邓万霞, 张金枝, 罗敬安, 等. 崔家营水库蓄水前后汉江襄阳市区段水质变化[J]. 现代预防医学, 2013, 40(4): 619-621.

- DENG W X,ZHANG J Z,LUO J A,et al.Water quality change in urban district of Hanjiang river in Xiangyang before and after Cuijiaying reservoir water storage[J].Modern Preventive Medicine,2013,40(4):619-621.
- [8] 徐聚臣,杜红春,王晓宁,等.2017—2020年汉江干流水生生物资源现状及变化趋势[J].华中农业大学学报,2021,40(5):126-137.
- XU J C,DU H C,WANG X N,et al.Current situation and changing trend of aquatic organisms resources in main stream of Hanjiang River from 2017 to 2020[J].Journal of Huazhong Agricultural University,2021,40(5):126-137.
- [9] 章宗涉,黄祥飞.淡水浮游生物研究方法[M].北京:北京出版社,1991.
- [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] HAMMER-MUNTZ O,HARPER D,RYAN P.PAST:paleontological statistics software package for education and data analysis version 2.09[J].Palaeontologia Electronica,2001,1(4):1-9.
- [12] 董雅欠,赵文,季世琛,等.北京潮白河水系浮游动物群落结构特征及水质评价[J].大连海洋大学学报,2020,35(3):424-431.
- DONG Y Q,ZHAO W,JI S C,et al.Community structure of zooplankton and water quality evaluation in Chaobai River system in Beijing [J].Journal of Dalian Ocean University,2020,35(3):424-431.
- [13] 杨潇,马吉顺,张欢,等.鄱阳湖不同水文期浮游生物群落结构特征和影响因素及水质评价[J].水生生物学报,2021,45(5):1093-1103.
- YANG X,MA J S,ZHANG H,et al.Community structure and the water quality during different hydrological periods in Poyang Lake[J].Acta Hydrobiologica Sinica,2021,45(5):1093-1103.
- [14] 张宾,章飞军,郭远明,等.舟山渔场海域春夏季氮磷分布及其对浮游植物的限制[J].浙江海洋学院学报(自然科学版),2011,30(3):185-189.
- ZHANG B,ZHANG F J,GUO Y M,et al.Micronutrients distributions and their limitation on phytoplankton in the Zhoushan fishery ground in spring and summer[J].Journal of Zhejiang Ocean University(Natural Science),2011,30(3):185-189.
- [15] 魏印心.中国新记录:小金藻在武汉东湖的季节消长[J].水生生物学报,1996,20(4):317-321.
- WEI Y X.Chrysochromulina parva lackey(Prymnesiophyceae):new record in China and its seasonal fluctuation in Lake Donghu,Wuhan [J].Acta Hydrobiologica Sinica,1996,20(4):317-321.
- [16] 宋高飞,朱宇轩,AJAYAN A,等.重金属污染区秋季浮游植物群落特征及其与环境因子的关系[J].水生生物学报,2021,45(5):1082-1092.
- SONG G F,ZHU Y X,AJAYAN A,et al.The community structure of phytoplankton and its relationships with environmental factors of heavy metal pollution districts in autumn[J].Acta Hydrobiologica Sinica,2021,45(5):1082-1092.
- [17] LI J H,ZHANG J B,HUANG W,et al.Comparative bioavailability of ammonium,nitrate,nitrite and urea to typically harmful cyanobacterium Microcystis aeruginosa[J].Marine Pollution Bulletin,2016,110(1):93-98.
- [18] 张辉,彭宇琼,邹贤妮,等.新丰江水库浮游植物功能分组特征及其与环境因子的关系[J].中国环境科学,2022,42(1):380-392.
- ZHANG H,PENG Y Q,ZOU X N,et al.Characteristics of phytoplankton functional groups and their relationships with environmental factors in Xinfengjiang Reservoir[J].China Environmental Science,2022,42(1):380-392.

Characteristics of phytoplankton community and their influencing factors in Xiangyang Hanjiang national wetland park

Li Honghai, Mi Wujuan, Zhao Chongyu, Bi Yonghong, Feng Dejin, Kong Hongxia, Song Gaofei

(State Key Laboratory of Fresh Water Ecology and Biotechnology; Institute of Hydrobiology,
Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, China)

Abstract: In order to clarify the characteristics and influencing factors of phytoplankton community structure during different hydrological periods, the survey was conducted at sixteen typical sampling sites of Xiangyang Hanjiang national wetland park in March(dry season) and June(wet season) of 2021. A total of 75 phytoplankton species were identified, belonging to 8 phyla and 61 genera. Bacillariophyta dominated in wet and dry seasons. The species richness, shannon-wiener index and evenness index of the phytoplankton community showed significant differences during different hydrological periods($P < 0.05$), and the community structure of phytoplankton has significant differences during different hydrological periods($P < 0.01$). Mantel test analysis indicated that water temperature, permanganate index, carbon content were key factors affecting the community structure of phytoplankton dry season, whereas nitrogen content, orthophosphate, water temperature, transparency were key factors affecting the community structure of plankton during wet season.

Keywords: Xiangyang Hanjiang national wetland park; phytoplankton; community structure; environmental factors

附表 I 襄阳汉江国家湿地公园环境因子状况

Attached tab. I Means(minimum-maximum)of environmental factors in Xiangyang Hanjiang national wetland park

环境因子	枯水期			丰水期			ANOVA	
	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	F	P
TN/(mg·L ⁻¹)	1.80	2.71	1.16	1.71	3.75	0.95	0.234	0.631
NO ₃ ⁻ -N/(mg·L ⁻¹)	1.43	2.13	1.26	1.29	2.29	0.78	1.285	0.264
NH ₄ ⁺ -N/(mg·L ⁻¹)	0.03	0.07	0.01	0.13	0.27	0.06	49.042	0.000
TP/(mg·L ⁻¹)	0.13	0.31	0.05	0.07	0.22	0.01	6.968	0.012
PO ₄ ³⁻ -P/(mg·L ⁻¹)	0.01	0.01	0.00	0.04	0.14	0.00	6.951	0.012
TC/(mg·L ⁻¹)	31.58	37.26	26.63	27.92	30.16	26.86	38.222	0.000
IC/(mg·L ⁻¹)	31.94	36.31	30.00	28.76	29.36	26.95	63.418	0.000
TOC/(mg·L ⁻¹)	0.25	1.24	0.00	0.13	0.96	0.00	1.026	0.317
COD _{Mn} /(mg·L ⁻¹)	3.57	4.64	3.04	1.37	3.25	0.50	91.215	0.000
WT/°C	12.2	13.1	11.3	20.8	27.4	18.4	128.562	0.000
DO/(mg·L ⁻¹)	9.03	12.50	6.60	8.22	9.05	5.82	2.814	0.103
Trans/m	2.5	3.8	0.7	1.6	2.3	0.4	9.478	0.004
SPC/(10 ⁻⁴ s·m ⁻¹)	215.16	308.65	197.90	309.23	393.40	288.20	71.748	0.000
pH	7.8	8.0	7.4	8.0	8.1	7.7	26.092	0.000
ORP/mV	97.09	112.20	78.50	116.64	138.00	87.40	24.579	0.000
depth/m	8.6	14.9	4.1	8.1	12.0	3.9	0.268	0.608
Velocity/(m·s ⁻¹)	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.0	6.391	0.017
Chl.a/(μg·L ⁻¹)	2.33	6.65	0.79	3.19	10.77	0.64	0.933	0.340

注:加粗字体表示差异显著(P<0.05)

附表 II 汉江国家湿地公园不同水文时期浮游植物优势种及优势度

Attached tab. II The dominant species of the phytoplankton in Xiangyang Hanjiang national wetland park during different hydrological periods

门	属种	拉丁名	优势度	
			枯水期	丰水期
蓝藻门	微囊藻	<i>Microcystis</i> sp.	0.000	0.035
	微小平裂藻	<i>Merismopedia tenuissima</i>	0.000	0.059
	浮丝藻	<i>Planktothrix</i> sp.	0.002	0.024
	束丝藻	<i>Aphanizomenon</i> sp.	0.000	0.036
硅藻门	小环藻	<i>Cyclotella</i> sp.	0.586	0.250
	针杆藻	<i>Synedra</i> sp.	0.021	0.054
	直链藻	<i>Melosira</i> sp.	0.009	0.028
隐藻门	隐藻	<i>Cryptomonas</i> sp.	0.039	0.007
	斜结隐藻	<i>Plagioselmis</i> sp.	0.036	0.006
金藻门	小金色藻	<i>Chrysochromulina parva</i>	0.031	0.000