

影响东洞庭湖浮游植物群落分布的环境因子分析

尹宇莹¹, 蒋艳萍¹, 朱丹丹²

(1. 湖南省长沙生态环境监测中心, 湖南 长沙 410000; 2. 湖南省岳阳生态环境监测中心, 湖南 岳阳 414000)

摘要: 为了解东洞庭湖浮游植物群落结构特征及其富营养化现状, 于2020年5月、6月及8—12月对东洞庭湖7个采样点的水质情况和浮游植物群落情况进行调查。浮游植物共检出8门76种, 主要由蓝藻门、绿藻门、硅藻门植物组成。再运用主成分分析(PCA)方法对调查范围内所有采样点的主要浮游植物与环境因子之间的关系进行研究, 结果表明: 总氮、流速、温度和pH值是影响东洞庭湖浮游植物群落分布的主要环境因子。

关键词: 东洞庭湖; 浮游植物; 环境因子; 群落结构; 主成分分析

中图分类号: X524

文献标识码: A

文章编号: 1672-5298(2023)03-0045-05

Analysis of Environmental Factors Affecting Phytoplankton Community Distribution in East Dongting Lake

YIN Yuying¹, JIANG Yanping¹, ZHU Dandan²

(1. Changsha Ecological Environment Monitoring Center of Hunan Province, Changsha 410000, China;

2. Yueyang Ecological Environment Monitoring Center of Hunan Province, Yueyang 414000, China)

Abstract: In order to investigate the phytoplankton community and the correlation with environmental factors in the East Dongting Lake, the samples of the phytoplankton and the aquatic environment from 7 different segments were assessed in May, June August to December of 2020. 8 divisions and 76 genera including the variants were identified to be mainly composed of the Chlorophyta, Cyanophyta and Bacillariophyta. The result shows that the environmental factors such as total nitrogen, temperature, flow velocity, pH play a key role in affecting the structure and dynamics of the phytoplankton community in the East Dongting Lake.

Key words: East Dongting Lake; phytoplankton; environmental factors; community structure; principal component analysis

0 引言

东洞庭湖位于洞庭湖区东部, 面积1328 km², 三口、四水汇合东洞庭湖后, 通过湖泊调蓄, 由城陵矶注入长江。东洞庭湖区毗邻岳阳市, 城镇集聚多, 土地垦殖率高, 工农业较为发达^[1]。近年来, 区域农业面源污染严重, 加上日益增多的生活污水、工业废水排放, 使湖区营养物质(如氮、磷)的输入量增加, 东洞庭湖水环境呈日益恶化趋势^[2-4]。目前东洞庭湖氮磷营养盐含量已远超富营养水平(总氮年均1.58 mg/L、总磷年均0.101 mg/L), 为浮游植物的生长提供了条件^[3]。因此, 研究东洞庭湖浮游植物群落的特征与环境因子的关系能够为东洞庭湖的水质管理和可持续利用提供参考, 同时为洞庭湖水水质评价及保护提供科学依据。

浮游植物是水体初级生产者以及食物链的基础, 在生态系统中发挥着重要作用^[1]。浮游植物的组成和数量结构变化受物理、化学和生物等环境因子的影响^[2]。浮游植物种类的组成和分布对环境变化具有指示作用, 而环境条件的改变也会影响浮游植物的个体、种群和群落^[4-6]。因此, 研究湖泊浮游植物群落结构及分布特征, 对于湖泊的生态环境监测及环境质量管理均具有重要意义。

1 材料与方

1.1 采样点设置

在东洞庭湖共设置7个监测点位, 分别为鹿角(S1)、扁山(S2)、东洞庭湖(S3)、岳阳楼(S4)、洞庭湖出口(S5)、大小西湖(S6)、主湖体5(S11)。其中S1~S6为原有的国控或省控断面, S11为新增点位。各监测点

收稿日期: 2023-03-17

基金项目: 洞庭湖江湖生态监测重点站项目(JJ2017-028); 岳阳市长江生态环境保护技术与方案研究(2019-LHYJ-01-0213-01)

作者简介: 尹宇莹, 女, 硕士, 工程师。主要研究方向: 水环境质量监测

位均采集水样和生物样. 东洞庭湖监测点位及相关信息见图 1 和表 1.

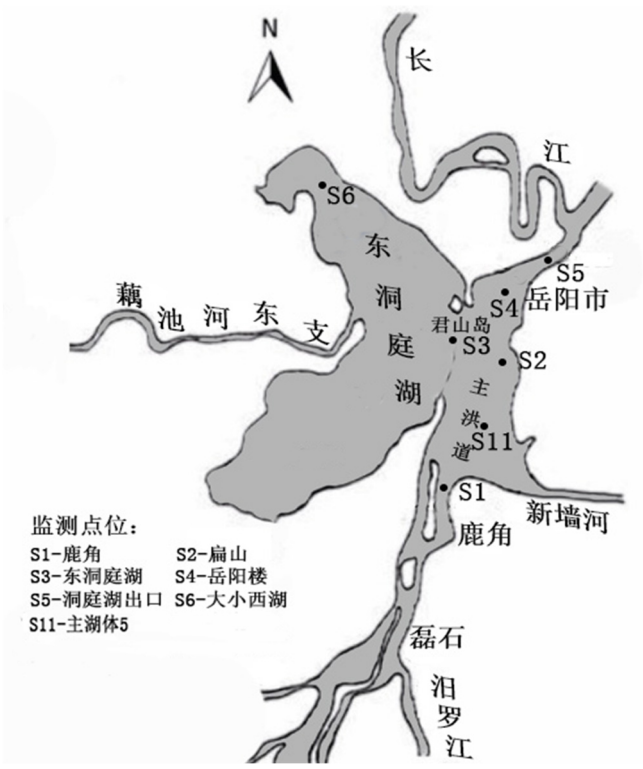


图 1 东洞庭湖监测点位

表 1 东洞庭湖监测点位信息

编号	点位名称	经纬度(仅供参考, 具体以现场为准)		备注
S1	鹿角	E112.988639	N 29.154083	国控断面
S2	扁山	E113.055639	N29.337944	国控断面
S3	东洞庭湖	E112.998611	N29.33	国控断面
S4	岳阳楼	E113.089	N29.402639	国控断面
S5	洞庭湖出口	E113.137667	N29.442944	国控断面
S6	大小西湖	E112.864722	N29.441111	省控断面
S11	主湖体 5	E113.028554	N29.255591	新增点位

1.2 样品采集

1.2.1 水质样品采集

根据《地表水和污水监测技术规范》(HJ/T 91—2002), 每个水质监测断面设左、中、右 3 条垂线, 分别采表层(0.5 m)水样.

浮游植物样品的采集: 在水体表层 0.5 m 处取 1 L 水样放入广口瓶, 立即加入 15 mL 鲁哥氏液固定, 静置 24 h 以上浓缩至 30 mL. 计数时取 0.1 mL 放入浮游植物计数框内进行镜检, 对浮游植物进行细胞分类计数统计^[6,7].

水质因子: 采样现场利用黑白盘测定水的透明度和水深, 用 YSI 多参数水质分析仪现场测定水温、流速、电导率、pH 值.

溶解氧: 滴定法(碘量法).

水质总磷的测定: 钼酸铵分光光度法(GB11893—89).

水质总氮的测定: 碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法(HJ636—2012).

浮游植物样品根据《淡水浮游生物图谱》《中国淡水志》《淡水浮游生物研究方法》进行分类鉴定^[7].

1.2.2 藻类生物学指标

以细胞密度、优势种(Y)对东洞庭湖浮游植物群落结构特征进行分析, 计算公式^[8~11]为

$$Y = P_i \times f_i,$$

其中 $P_i (= n_i / N)$ 为第 i 个属细胞密度(n_i)占总细胞密度(N)的比例; f_i 为第 i 个属出现的频率. $Y \geq 0.02$ 的属即为优势属.

1.3 主成分分析

主成分分析(PCA)方法是通过原有变量的线性组合以及各个主成分的求解来实现变量降维. 它的主要目的不是简单去掉那些不太重要的指标, 而是通过全面分析各项指标所携带的信息, 筛选出比原始指标少、又能解释大部分信息的综合性指标.

2 结果分析

2.1 水质理化性质及营养盐含量

5—12月东洞庭湖水质的理化性质变化情况见表2. 8月东洞庭湖的水流速度最低为0.27 m/s. 溶解氧和pH值变化不大. 5—12月东洞庭湖营养盐的变化情况见表2. 5—8月氨氮($\text{NH}_4\text{-N}$)浓度逐渐增大, 8月达到最大值为0.305 mg/L, 最低浓度出现在9月为0.182 mg/L; 总磷(TP)的最大值出现在5月, 浓度为0.112 mg/L, 最小值出现在8月为0.062 mg/L; 总氮(TN)的最大值出现在6月, 浓度为1.69 mg/L, 最小值出现在8月为1.17 mg/L. 东洞庭湖环境因子监测值为采样点平均值.

表2 东洞庭湖环境因子

月份	pH 值	流速	COD _{Mn} (mg/L)	TP (mg/L)	TN (mg/L)	Chl.a ($\mu\text{g/L}$)	$\text{NH}_4\text{-N}$ (mg/L)
5	7.54±0.07	0.49±0.32	2.72±1.47	0.112±0.04	1.37±0.23	0.013±0.01	0.264±0.04
6	7.89±0.23	0.39±0.08	3.31±2.41	0.089±0.02	1.69±0.14	0.022±0.02	0.270±0.07
8	7.68±0.18	0.27±0.04	2.87±0.32	0.062±0.02	1.17±0.22	0.008±0.00	0.305±0.09
9	7.87±0.11	0.34±0.07	2.25±0.35	0.063±0.02	1.41±0.26	0.008±0.00	0.182±0.04
10	7.64±0.14	0.33±0.05	1.86±0.35	0.074±0.01	1.60±0.24	0.008±0.00	0.208±0.04
11	7.88±0.07	0.39±0.12	2.35±1.12	0.089±0.01	1.40±0.42	0.015±0.01	0.240±0.04
12	7.69±0.21	0.32±0.05	2.78±0.80	0.083±0.02	1.45±0.27	0.011±0.01	0.385±0.80

2.2 浮游植物藻类丰度变化及功能群划分

2.2.1 浮游植物种群组成

调查期间东洞庭湖浮游植物细胞密度分布情况见图2. 本次调查共发现8门76属浮游植物, 其中蓝藻门(Cyanophyta)13属, 占浮游植物总种类数的17.10%; 绿藻门(Chlorophyta)31属, 占40.79%; 硅藻门(Bacillariophyta)19属, 占25.00%; 隐藻门(Cryptophyta)2属, 占2.63%; 裸藻门(Euglenophyta)6属, 占7.89%; 甲藻门(Pyrrophyta)3属, 占3.95%; 金藻门(Chrysophyta)1属, 黄藻门(Xanthophyta)1属, 各占1.32%. 浮游植物5月份有60属, 6月份有61属, 8月份有57属, 9月份有53属, 10月份有57属, 11月份有46属, 12月份有45属.

2.2.2 浮游植物的数量组成

2020年5月至12月东洞庭湖浮游植物藻密度存在明显变化, 藻密度随着时间先增加后降低, 变化范围为 9.8×10^6 cells/L ~ 1.45×10^8 cells/L, 藻密度最大值出现在8月, 最小值出现在10月. 其中大小西湖(S6)断面的藻密度是所有断面中最大的. 5月绿藻门占绝对优势, 6—10月蓝藻门占绝对优势, 11—12月硅藻门占绝对优势.

2.2.3 浮游植物优势属和多样性

经过调查发现, 在东洞庭湖中蓝藻门、绿藻门、硅藻门浮游植物分布广泛, 优势属出现在蓝藻门、绿

藻门和硅藻门。这是由于蓝藻门、绿藻门、硅藻门浮游植物对环境要求不高,因而在物种竞争方面占有优势,利于建群和生存,容易成为优势类群^[8,9]。

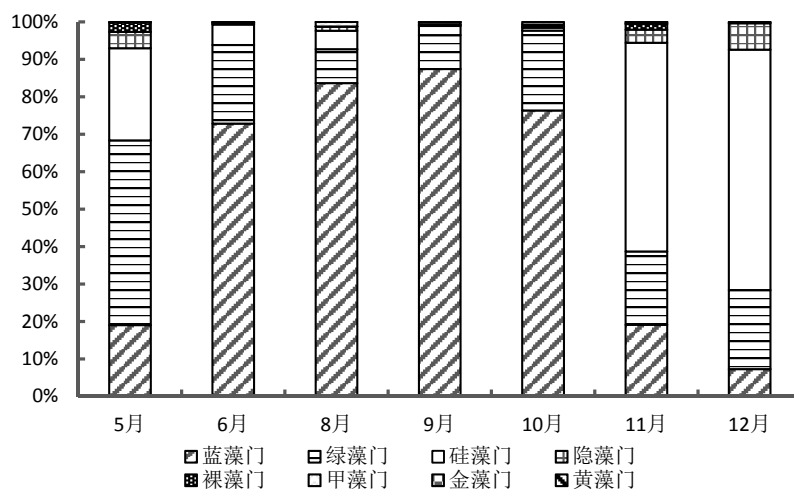


图2 东洞庭湖浮游植物细胞密度分布

5月的优势属为绿藻门的栅藻和十字藻,6月的优势属为蓝藻门的颤藻属、伪鱼腥藻属、鱼腥藻属,8月的优势属为蓝藻门的伪鱼腥藻属,9月的优势属为蓝藻门的伪鱼腥藻属和尖头藻属,10月的优势属为蓝藻门的颤藻属和伪鱼腥藻属,11月的优势属为硅藻门的菱形藻属,12月的优势属为硅藻门的直链藻属。东洞庭湖的优势种属主要集中在蓝藻门,个别断面中优势种属出现硅藻门和绿藻门。

2.3 浮游植物群落结构与环境因子的相关性分析

通过 RV4.1.1 对浮游植物密度与环境指标进行主成分分析,结果如图3所示。S1、S2、S3、S4 这四个点位的环境因子与藻密度性质比较相近, S11 的环境因子与藻密度的性质与其他几个断面有较大的差异。pH 值、Chl.a、COD_{Mn} 对藻密度影响较小, TN、流速 V、温度 T 对藻密度的影响比较大, 其中流速与藻密度的关系最为紧密。

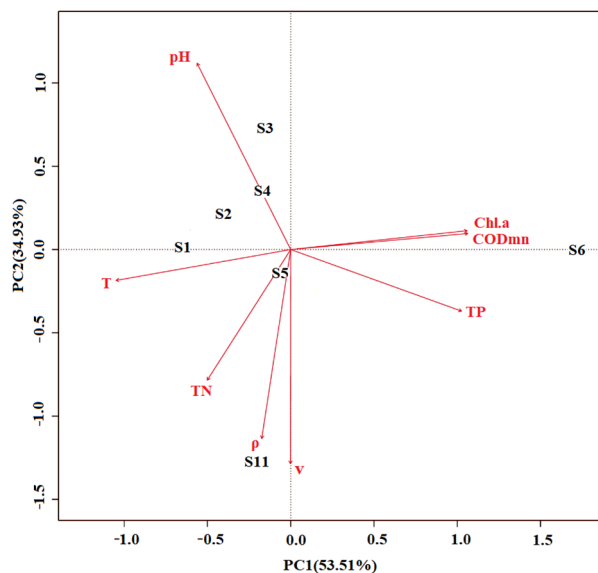


图3 东洞庭湖藻密度与环境因子 PCA 结果

3 结果与讨论

3.1 东洞庭湖浮游植物群落结构特征及时空变化

浮游植物可以作为湖泊水环境演化和富营养化发展的指示性生物,以隐藻门为优势种的湖泊,一般

为贫—中营养;以硅藻门为优势种的湖泊,一般为中—富营养;而以蓝藻门为优势种的湖泊,一般为丰富营养^[11,12]。本研究在东洞庭湖共发现浮游植物8门76属,其中蓝藻门13属,绿藻门31属,硅藻门19属,隐藻门2属,裸藻门6属,甲藻门3属,金藻门1属,黄藻门1属。优势类群为蓝藻门、绿藻门、硅藻门,分别占东洞庭湖种类的17.10%、40.79%、25.00%。这与王丑明等^[2]的研究结果基本相同。浮游植物的多样性是反映水环境质量好坏的一个重要指标^[13~15]。近年来随着长江禁止捕鱼行动的开展,洞庭湖的水生环境逐年好转,在洞庭湖发现的浮游植物的门类比之前有较大增加^[16,17]。

东洞庭湖各点位浮游植物的种类和丰度都存在明显的时间和空间差异,硅藻门和绿藻门广泛分布,纬度、经度和海拔对浮游植物生物多样性有很大影响,这说明淡水浮游植物的生物多样性同样是随着地理条件变化而变化的,而这种变化程度主要取决于当地的环境因子^[18]。

在整个调查期间,S1、S2、S3、S4这四个断面的环境因子与藻密度的性质比较接近,而S11的环境因子与藻密度的性质与其他几个断面有较大的差异。这可能是因为洞庭湖浮游植物优势种群从以隐藻和硅藻为主转变为以硅藻和绿藻为主,2008年以后东洞庭湖大小西湖的浮游植物已经转变为以蓝藻为优势种群,近30年来洞庭湖的营养状态从贫—中营养转为中—富营养,大小西湖已成为重度富营养化^[2,5],洞庭湖已经到了由中营养到轻度富营养化的转折点^[2],由于大小西湖的富营养化,导致其在夏季温度较高时,出现蓝藻暴发,从而导致藻密度变大。

3.2 东洞庭湖浮游植物与水质理化指标的相关性分析

影响东洞庭湖浮游植物的环境因子较为复杂,但是总体来说流速V、温度T和TN对藻密度的影响最大。多个研究表明,温度是浮游植物的结构和演替的重要影响因子^[19,20],而流速与藻密度的关系最为紧密,且二者成正比。有研究表明,20~25℃的温度最适合藻类的生长^[19],而本研究调查期间东洞庭湖的水温正处于一个适宜的温度,此时适量的流速有利于微囊藻等蓝藻门浮游植物的生长与繁殖^[20]。调查发现,浮游植物的密度与TN呈现显著正相关。TN是洞庭湖水体主要污染物之一,高浓度的TN能够刺激浮游植物的生长。因此为了防止东洞庭湖流域在夏季出现水华等现象,主要应从温度、流速和TN等因子出发,改善水体条件,减少蓝藻的繁殖和生长。

参考文献:

- [1] 汪梦琪,汪金成,王琪,等.洞庭湖区平水期浮游生物群落结构特征及富营养化现状[J].生态学报,2018,37(8):2418-2429.
- [2] 王丑明,郭晶,张屹,等.1988—2017年洞庭湖浮游植物的群落演变[J].中国环境监测,2018,34(6):19-25.
- [3] 田琪,李利强,黄代中.洞庭湖浮游植物群落结构与富营养化特征分析[J].当代水产,2012,37(7):72-74.
- [4] 郭春燕,冯佳,谢树莲.山西晋阳湖浮游藻类分布的时空格局及水质分析[J].湖泊科学,2010,22(2):251-255.
- [5] 朱丹丹,陈兆祺,李照全,等.洞庭湖水质污染状况分析及防治对策[J].湖南理工学院学报(自然科学版),2023,36(2):56-60.
- [6] 王丑明,吴可方,张屹,等.洞庭湖浮游植物时空变化特征及影响因素分析[J].淡水渔业,2018,48(4):52-57.
- [7] 李秋华,韩博平.基于CCA的典型调水水库浮游植物群落动态特征分析[J].生态学报,2007,27(6):2355-2364.
- [8] 柴毅,彭婷,郭坤,等.2012年夏季长湖浮游植物群落特征及其与环境因子的关系[J].植物生态学报,2014,38(8):857-867.
- [9] 朱英,沈根祥,钱晓雍,等.上海大莲湖水域浮游植物群落结构特征及水质评价[J].生态与农村环境学报,2010,26(6):544-549.
- [10] 何勇凤,李昊成,朱永久,等.湖北长湖富营养化状况及时空变化(2012—2013年)[J].湖泊科学,2015,27(5):853-864.
- [11] 王华,杨树平,房晟忠,等.滇池浮游植物群落特征及与环境因子的典范对应分析[J].中国环境科学,2016,36(2):544-552.
- [12] 郝媛媛,孙国钧,张立勋,等.黑河流域浮游植物群落特征与环境因子的关系[J].湖泊科学,2014,26(1):121-130.
- [13] 方平,李照全,庄琼华,等.2018—2022年洞庭湖水质变化趋势分析[J].湖南理工学院学报(自然科学版),2023,36(2):50-55.
- [14] 王金保,闫伟伟.鄱阳湖水质富营养化评价方法应用及探讨[J].江西师范大学学报(自然科学版),2007,31(2):210-214.
- [15] 王艺兵,侯泽英,叶碧碧,等.鄱阳湖浮游植物时空变化特征及影响因素分析[J].环境科学学报,2015,35(5):1310-1317.
- [16] 王琦,欧伏平,张雷,等.三峡工程运行后洞庭湖水环境变化及影响分析[J].长江流域资源与环境,2015,24(11):1843-1849.
- [17] 黄代中,万群,李利强,等.洞庭湖近20年水质与富营养化状态变化[J].环境科学研究,2013,26(1):27-33.
- [18] Stomp M, Huisman J, Mittelbach G G, et al. Large-scale biodiversity patterns in freshwater phytoplankton[J]. Ecology, 2011, 92(11): 2096-2107.
- [19] 李娣,李旭文,牛志春,等.太湖浮游植物群落结构及其与水质指标间的关系[J].生态环境学报,2014,23(11):1814-1820.
- [20] 王婷婷,朱伟,李林.不同温度下水流对铜绿微囊藻生长的影响模拟[J].湖泊科学,2010,22(4):563-568.