

文章编号: 1674-5566(2023)06-1224-13

DOI: 10.12024/jsou.20221204046

## 上海青草沙水库浮游植物功能群时空变化特征及其影响因子

王文婷<sup>1</sup>, 李 丰<sup>2</sup>, 徐赛赛<sup>1</sup>, 陈诗雨<sup>1</sup>, 陈立婧<sup>1,2</sup>

(1. 上海海洋大学 环境 DNA 技术与水生态健康评估工程中心, 上海 201306; 2. 上海农林职业技术学院, 上海 201699)

**摘 要:** 为探究上海青草沙水库浮游植物功能群的时空变化特征及其与环境因子的关系, 以及进、出水口与库区浮游植物群落特征异同的原因, 于 2021 年每月对浮游植物进行调查, 运用浮游植物功能类群 (Functional groups, FG) 方法和冗余分析 (Redundancy analysis, RDA) 对数据进行分析。结果显示, 调查期间青草沙水库共鉴定出浮游植物 7 门 143 种, 主要由蓝、绿、硅藻门种类构成, 浮游植物年均生物量为  $(0.64 \pm 0.35)$  mg/L。水库浮游植物共划分出 25 个功能类群, 其中 K、Lo、H1、S1、B、D、P、MP、F、G 为优势功能群, 主要隶属于蓝藻门和硅藻门。进、出水口浮游植物种类分别有 3 门 40 种, 5 门 48 种, 分属于 15 组、19 组功能群, 共有优势功能群为 7 组, 分别为 K、Lo、S1、P、MP、B 和 F 功能群; 进水口年均生物密度和生物量分别为  $118.17 \times 10^4$  cell/L 和 0.16 mg/L, 与出水口相比, 出水口年均生物密度和生物量分别上升了 34.85% 和 50.12%, 且进、出水口生物量间呈显著性差异。对青草沙水库 3 个库区浮游植物优势功能群的生物量进行单因素方差分析 (ANOVA), 结果表明: 库首、库中和库尾浮游植物优势功能群生物量无显著差异, 且 3 个库区物种相似度为中等相似。冗余分析 (RDA) 表明, 水温、氨氮和溶氧是影响青草沙水库浮游植物优势功能群变化的主要环境因子。本研究对青草沙水库浮游植物功能群的划分及演替进行了分析, 对比进出水口浮游植物功能群的差异, 为该水库的水资源保护提供理论依据。

**关键词:** 青草沙水库; 浮游植物功能群; 时空变化; 环境因子

**中图分类号:** Q 948

**文献标志码:** A

作为淡水水体的主要初级生产者, 浮游植物生长周期短, 能对水体环境的变化迅速作出反应, 在水生态系统中扮演着十分重要的角色, 可作为水质净化程度和生态修复水平的指示生物, 也是水质生物学评价的重要指标<sup>[1-3]</sup>。由于水库的特殊性, 水库在季节变换期间有明显的水文变化, 根据季节、空间变化总结水库浮游植物结构的动态规律十分重要<sup>[4]</sup>。基于传统物种同源性特点将浮游植物归入不同的种群并不能将水环境状况完全区分, 很少体现环境的生态特征, 具有一定局限性。因此, REYNOLDS 等<sup>[4]</sup>和 PADISÁK 等<sup>[5]</sup>在传统浮游植物分类方法鉴定的基础上, 将浮游植物划分为不同的功能群 (Functional group, FG), 其核心是将相同生态环境下可以共存的浮游植物划分为同一功能群<sup>[6]</sup>, 这不仅使浮游植物

群落的研究更加简单, 而且能最大程度地反映其与水体环境之间的动态关系, 更直观地说明了生境变化对浮游植物群落结构变化的影响, 已被广泛应用于湖泊、水库、河流等水体浮游植物生态学研究<sup>[7-9]</sup>。我国学者在浮游植物功能群的季节演替、影响浮游植物功能群特征的驱动因子和水质评价等方面做了许多有益探索, 葛优等<sup>[10]</sup>研究了阳澄西湖浮游藻类功能群的季节演替特征, 夏莹霏等<sup>[11]</sup>利用浮游植物功能群 Q 指数评价了太湖水质状况。

青草沙水库位于我国东部的长江河口, 是世界上最大的“蓄淡避咸”型水库, 供水范围现已覆盖静安、徐汇、黄浦、闵行和浦东新区等 15 个行政区, 占上海原水供应的 50% 以上, 受益人口约 1 300 万<sup>[12]</sup>, 是上海市不可或缺的优良水源

收稿日期: 2022-12-15

修回日期: 2023-02-23

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2020YFD0900504); 上海市科学技术委员会部分地方院校能力建设项目 (19050501900)

作者简介: 王文婷 (1995—), 女, 硕士研究生, 研究方向为浮游生物生态学与水生态修复。E-mail: 2457209584@qq.com

通信作者: 陈立婧, E-mail: 212215@shaf.edu.cn

版权所有 ©《上海海洋大学学报》编辑部 (CC BY-NC-ND 4.0)

Copyright © Editorial Office of Journal of Shanghai Ocean University (CC BY-NC-ND 4.0)

<http://www.shhydx.com>

地。然而,青草沙水库位于长江三角洲地区,人口稠密,城市发展、工业生产和生活污水产生的污染物流入长江口和邻近海域<sup>[13-14]</sup>;由于水库营养物负荷较大,水力停留时间较长(约25 d),水库面临着蓝藻水华等富营养化问题,不仅对水库水体水质、鸟类栖息地、食物网和淡水生态系统的各个方面造成严重威胁<sup>[15]</sup>,还增加了居民饮用水安全的风险<sup>[16]</sup>。因此,确保良好的生态质量和用水安全,推进高品质饮用水示范区建设至关重要。

目前,对于青草沙水库浮游植物的研究较多停留在群落结构特征、演替规律及与环境因子的关系等方面,对于青草沙水库浮游植物功能群的研究还鲜有报道;上海市十四五规划将强化水源地安全保障,提升饮用水品质放在突出位置,指出要推进青草沙-陈行原水系统连通等水源地连通工程建设,加强水源地与跨省上游

地区联动共保。因此,本研究将浮游植物功能群的概念引入到青草沙水库水环境监测中,分析水库内浮游植物功能群时空演变特征及其与水环境因子之间的相互作用,对比进出水口浮游植物功能群变化特征的差异,以期为青草沙水库饮用水健康评估与生态系统管理提供基本理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 采样点与采样方法

根据青草沙水库形态特征、地理状况及水文条件,共在水库内布设了11个采样点,2021年每月下旬采样。水库自西北向东南流动,越靠近中下游水库水位越高,其中进水口处靠近S11采样点,出水口处靠近S7采样点。根据生态特点,水库分为库首(S1,S10和S11)、库中(S2,S3,S4,S8和S9)和库尾(S5,S6和S7)。见图1。

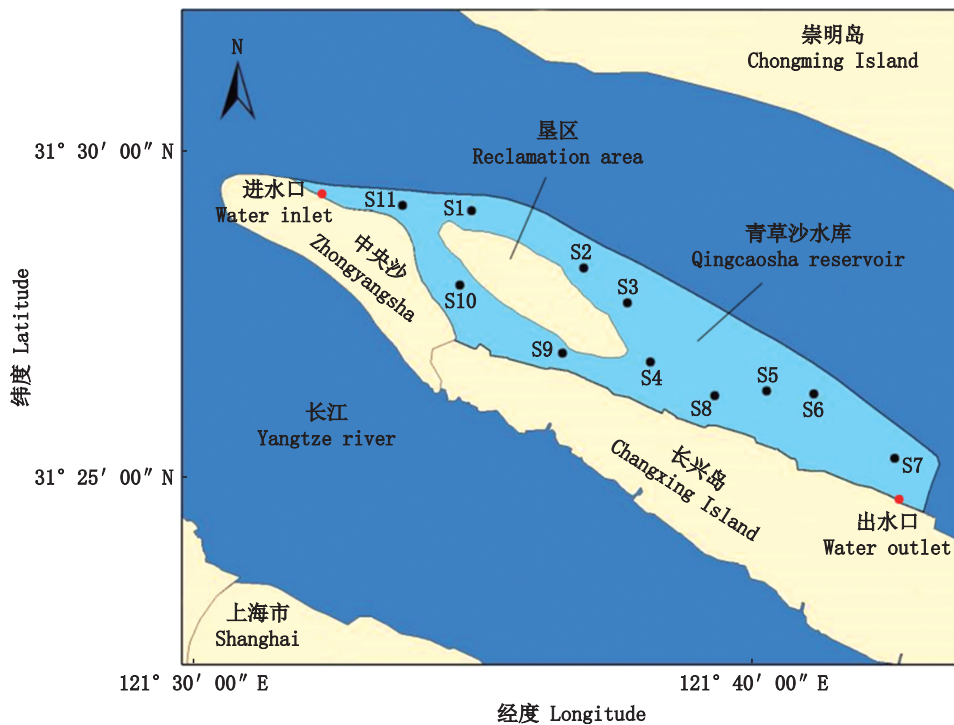


图1 青草沙水库采样点分布图

Fig. 1 Distribution of sampling sites in Qingcaosha Reservoir

### 1.2 样品的采集与处理

浮游植物的采样和处理参照《湖泊生态调查观测与分析》<sup>[17]</sup>。定量样品在电子显微镜(NIKON-E200)10×40倍镜下鉴定并计数<sup>[18-20]</sup>。在采集浮游植物的同时,使用FluoroSense™ Handheld手持式叶绿素测定仪现场测定叶绿素a

(*Chl.a*),塞氏盘测定透明度(SD),日本BPL8-PS7FL回声测深仪测定水深(Water depth, WD),德卡托电波流速仪SVR测定水体流速(Flow velocity),HACH-HQ2200便携式水质测定仪现场测定水温(Water temperature, WT)、酸碱度(pH)、溶氧(Dissolved oxygen, DO)、电导率(Electrical

conductance, EC)、溶解固体物(Total dissolved solids, TDS)。实验室内用HACH-DR3900分光光度计测定总氮(TN)、总磷(TP)、硝酸盐( $\text{NO}_3^-$ -N)和氨氮( $\text{NH}_4^+$ -N)。

### 1.3 数据分析

Jaccard种类相似性指数<sup>[21-22]</sup>:

$$S_j = c/(a + b - c) \quad (1)$$

式中: $a$ 为一个地区的物种类数总和; $b$ 为另一个地区的物种类数总和; $c$ 为两地区共有物种和。当 $S_j$ 值为0~0.25时为极不相似,0.25~0.50时为中等不相似,0.50~0.75时为中等相似,0.75~1.00时为极为相似。

按FG功能群分类法<sup>[4-5]</sup>对浮游植物功能群进行划分,并将其按生物量进行筛选和排序,若功能群生物量至少在一个采样点占总生物量的5%以上(即相对生物量>5%),即定义为优势功能群。

运用SPSS 21.0软件对各采样点以及各月份之间的水环境因子、浮游植物生物密度和生物量进行单因素方差分析(ANVOA),方差分析前对数据进行方差齐性检验和正态性检验,当方差分析结果 $P<0.05$ 时,认为具有显著性差异;Origin 2022软件绘制浮游植物群落结构图,利用

CANOCO 5软件对浮游植物功能群与环境因子关系进行冗余分析(RDA)。

## 2 结果与分析

### 2.1 环境理化因子特征

库首、库中、库尾的平均水深分别为4.58、6.76、12.20 m,从上游向下游逐渐加深;单因素方差分析表明SD、TN和TP质量浓度各月间无显著性差异( $P>0.05$ ),其余理化因子各月间呈显著性差异( $P<0.05$ ),且WT、TDS浓度各月间差异极显著( $P<0.01$ )。采样点间则表现为WD、SD、V及Chl.a呈显著差异( $P<0.05$ ),其余理化因子均无明显差异( $P>0.05$ )。库区属于亚热带季风气候,受气温影响,水库水温变化较为明显,1月低至5.71 °C,8月高达30.01 °C。Chl.a质量浓度是反映浮游植物生物量和分布的重要指标,Chl.a质量浓度呈先升高再降低的趋势,且库首Chl.a质量浓度显著低于库中与库尾( $P<0.05$ )。

出水口处pH、DO和Chl.a年均值高于进水口处,TN、TP及EC较进水口则略低,但两个采样点位间理化因子差异均不显著。除WT、EC、TP和 $\text{NH}_4^+$ -N外,其余理化因子库区年均值均高于进、出水口。

表1 2021年青草沙水库水环境因子的年均值  
Tab. 1 Annual mean value of environment factors of Qingcaosha Reservoir in 2021

水环境因子 Environmental factors	库首 Head	库中 Middle	库尾 Tail	进水口 Inlet	出水口 Outlet
水深 WD/m	4.58±1.17	6.76±2.95	12.20±0.84	5.30±1.11	6.90±1.25
流速 V/(m/s)	1.30±1.21	0.42±0.12	0.33±0.06	0.84±0.08	0.78±0.17
透明度 SD/cm	45.72±8.46	64.49±16.66	80.69±3.79	31.00±22.00	59.00±7.00
水温 WT/°C	19.74±0.11	19.83±0.13	19.44±0.14	20.50±8.20	19.80±7.60
溶氧 DO/(mg/L)	10.16±0.35	11.02±0.17	10.81±0.31	8.41±1.39	9.06±1.41
pH	8.61±0.03	9.09±0.09	9.06±0.08	7.84±0.54	8.02±0.48
电导率 EC/μS	285.07±21.34	293.18±5.05	284.24±1.55	344.00±67.64	332.00±65.53
溶解性总固体 TDS/(mg/L)	196.91±16.41	201.08±7.03	202.00±0.69	179.21±29.05	179.21±28.30
叶绿素 a Chl.a/(μg/L)	4.92±3.17	9.21±0.90	9.22±1.29	2.00±2.39	5.00±1.01
总氮 TN/(×10 <sup>6</sup> mol/L)	49.30±3.20	57.40±16.80	20.20±4.10	42.20±3.80	35.50±1.80
总磷 TP/(×10 <sup>6</sup> mol/L)	8.80±1.50	8.50±1.50	8.10±2.30	9.50±2.60	8.10±1.40
硝态氮 $\text{NO}_3^-$ -N/(×10 <sup>6</sup> mol/L)	5.20±0.60	5.80±1.30	6.90±0.20	3.70±0.45	3.90±0.18
氨氮 $\text{NH}_4^+$ -N/(×10 <sup>6</sup> mol/L)	1.50±0.30	1.60±0.50	1.60±0.10	2.30±0.50	1.70±0.30

### 2.2 浮游植物种类组成

2021年青草沙水库共鉴定出浮游植物7门143种,对全年浮游植物种类进行聚类分析(图2)可知,青草沙水库浮游植物种类组成主要由

三部分构成,绿藻门单独为一部分,裸藻门、甲藻门、隐藻门、黄藻门共为一部分,最后一部分为硅藻门和蓝藻门;绿藻门种类数最多,共51种,其次为硅藻门和蓝藻门,分别为44种和33



种,三者占比高达 90.23%;而裸藻门、甲藻门、隐藻门和黄藻门物种数较少。除 2 月、3 月硅藻

门种类数最多外,其余月份以绿藻门种类最多。

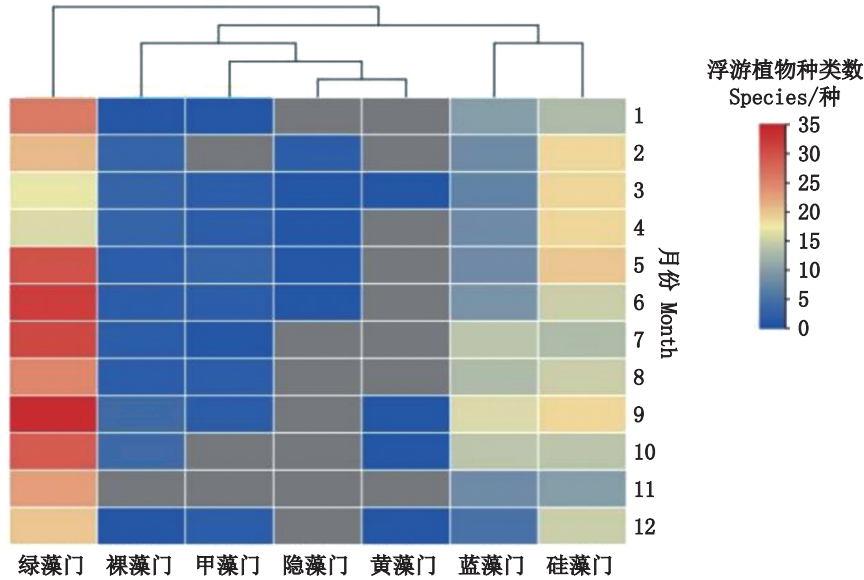


图 2 青草沙水库浮游植物种类聚类情况  
Fig. 2 Clustering of monthly average phytoplankton species in Qingcaosha Reservoir

2.3 浮游植物功能群组成

依据 REYNOLDS 等<sup>[4]</sup>和 PADISÁK 等<sup>[5]</sup>等增补的浮游植物功能群分类方法,结合青草沙水库的水质状况,将青草沙水库中采集到的浮游植物样品进行功能群划分,共划分出 25 个功能群,分别为 K、S1、S2、B、Lo、T、C、D、F、G、H1、J、M、MP、N、P、TB、TC、W1、W2、X1、X2、X3、Y、SN,并得到青草沙水库 K、Lo、H1、S1、B、D、P、MP、F、G 10 个优势功能群。各功能类群的生境特征及其代表种见表 2。

2.3.1 浮游植物优势功能群的时空分布特征

调查期间,青草沙水库浮游植物优势功能群呈现出 K+D+MP+P→K+D+MP+S1+H1+G→K+H1+S1+G→K+Lo+D+MP 的周年演替特征,功能群 K、H1、S1、MP、G、D、和 P 的生物量贡献率较高,以隐球藻属为代表的 K 功能群生物量全年总体差距不大,且出现频率也较其他优势功能群高,除 4 月外,其他月份均有出现。见图 3。

从季节上来看,D、P 和 MP 功能群的生物量在冬春季节占有很高的比例,随着温度的升高,D、P 和 MP 功能群逐渐消退,随之 S1 和 H1 功能群

的生物量明显升高;夏秋季节优势功能群较多,以功能群 S1 和 H1 为主,占比分别为 50.00% 和 48.00%,秋季除功能群 S1 和 H1 占比较高外,G 功能群也占有一定比例。见图 3。

从空间上,功能群 S1、D、P 和 MP 在各个采样点出现频率最高,且生物量贡献率达 52.14%,以蓝藻和硅藻门类为主;功能群 G 和 H1 的出现频率和生物贡献量次之,为 39.60%。以裸甲藻属为代表的 Y 功能群和以裸藻属为代表的 W1 功能群仅在调查期间的 3 个采样点出现;以螺旋藻属为代表的 S2 功能群仅出现在 S11 采样点。青草沙水库 3 个库区的浮游植物功能群组成较为相似,H1 功能群在库首的生物量最大,占库首总生物量的 33.40%,MP 和 G 功能群次之,但 MP 和 G 功能群在库中、库尾的生物量占比最大,分别占库中与库尾总生物量的 42.50% 和 40.00%。对库首、库中和库尾 3 个库区浮游植物优势功能群生物量进行 ANOVA 分析,结果表明,库首、库中和库尾 3 个库区浮游植物优势功能群生物量无显著性差异(P>0.05),且库首、库中与库尾两两之间物种相似性指数均达到 0.60 左右,为中等相似。见图 3。

表2 青草沙水库浮游植物功能群组成  
 Tab. 2 Composition of phytoplankton functional groups of Qingcaosha reservoir

功能群 Functional groups	浮游植物种属 Phytoplankton species	生境特征 Habitat characteristics
B	小环藻属 <i>Cyclotella</i> spp.	中营养、中小型或大型浅水水体
C	梅尼小环藻 <i>Cyclotella meneghiniana</i> 模糊沟链藻 <i>Aulacoseira ambigua</i> 星杆藻属 <i>Asterionella</i> spp.	富营养、中小型水体
D	菱形藻属 <i>Nitzschia</i> spp. 针杆藻属 <i>Synedra</i> spp.	含有营养盐、浑浊
F	微芒藻未定种 <i>Micractinium</i> sp. 蹄形藻属 <i>Kirchneriella</i> spp. 卵囊藻属 <i>Oocystis</i> spp. 网球藻未定种 <i>Dictyosphaerium</i> sp.	中到富营养、洁净、混合强
G	空球藻 <i>Eudorina elegans</i> 实球藻 <i>Pandorina morum</i>	富营养、停滞水体
H1	鱼腥藻属 <i>Anabaena</i> spp. 长孢藻属 <i>Dolichospermum</i> spp. 束丝藻未定种 <i>Aphanizomenon</i> sp.	富营养、分层、含氮低、浅水
J	栅藻属 <i>Scenedesmus</i> spp. 盘星藻属 <i>Pediastrum</i> spp. 四星藻属 <i>Tetrastrum</i> spp. 四角藻属 <i>Tetraedron</i> spp. 集星藻属 <i>Actinastrum</i> spp. 多芒藻属 <i>Golenkinia</i> spp. 空星藻属 <i>Coelastrum</i> spp.	高营养、混合、浅水
K	隐杆藻未定种 <i>Aphanothece</i> sp. 隐球藻属 <i>Aphanocapsa</i> spp.	富营养的浅水
Lo	色球藻属 <i>Chroococcus</i> spp. 平裂藻属 <i>Merismopedia</i> spp. 多甲藻属 <i>Peridinium</i> spp.	贫到富营养、中到大型水体
M	微囊藻属 <i>Microcystis</i> spp.	小到中型富营养到超富营养、稳定的水体
MP	舟形藻属 <i>Navicula</i> spp. 羽纹藻属 <i>Pinnularia</i> spp. 卵形藻属 <i>Cocconeis</i> spp.	经常性搅动、浑浊、浅水
N	鼓藻属 <i>Cosmarium</i> spp.	持续或半持续的混合水层
P	新月藻属 <i>Closterium</i> spp. 脆杆藻属 <i>Fragilaria</i> spp. 变异直链藻 <i>Melosira varians</i>	持续或半持续的混合水层
S1	假鱼腥藻属 <i>Pseudoanabaena</i> spp. 浮丝藻属 <i>Planktothrix</i> spp.	混合浑浊、透明度低
T	近缘黄丝藻 <i>Tribonema affine</i>	持续混合水层
S2	螺旋藻 <i>Spirulina major</i>	
TB	异极藻属 <i>Gomphonema</i> spp. 披针形曲壳藻 <i>Achnanthes lanceolata</i>	水流湍急的水体
TC	颤藻属 <i>Oscillatoria</i> spp.	富营养、静水或者流动缓慢、具有挺水植物的水体
W1	裸藻属 <i>Euglena</i> spp. 扁裸藻属 <i>Phacus</i> spp.	有机污染、浅水
W2	囊裸藻属 <i>Trachelomonas</i> spp.	中营养、浅水
X1	纤维藻属 <i>Ankistrodesmus</i> spp. 小球藻属 <i>Chlorella</i> spp.	超富营养、浅水
X2	衣藻未定种 <i>Chlamydomonas</i> sp.	中到富营养、浅水
X3	弓形藻属 <i>Schroederia</i> spp.	贫营养、混合、浅水
Y	裸甲藻未定种 <i>Gymnodinium</i> sp. 卵形隐藻 <i>Cryptomonas ovata</i>	静水环境
SN	尖头藻未定种 <i>Raphidiopsis</i> sp.	温暖、混合

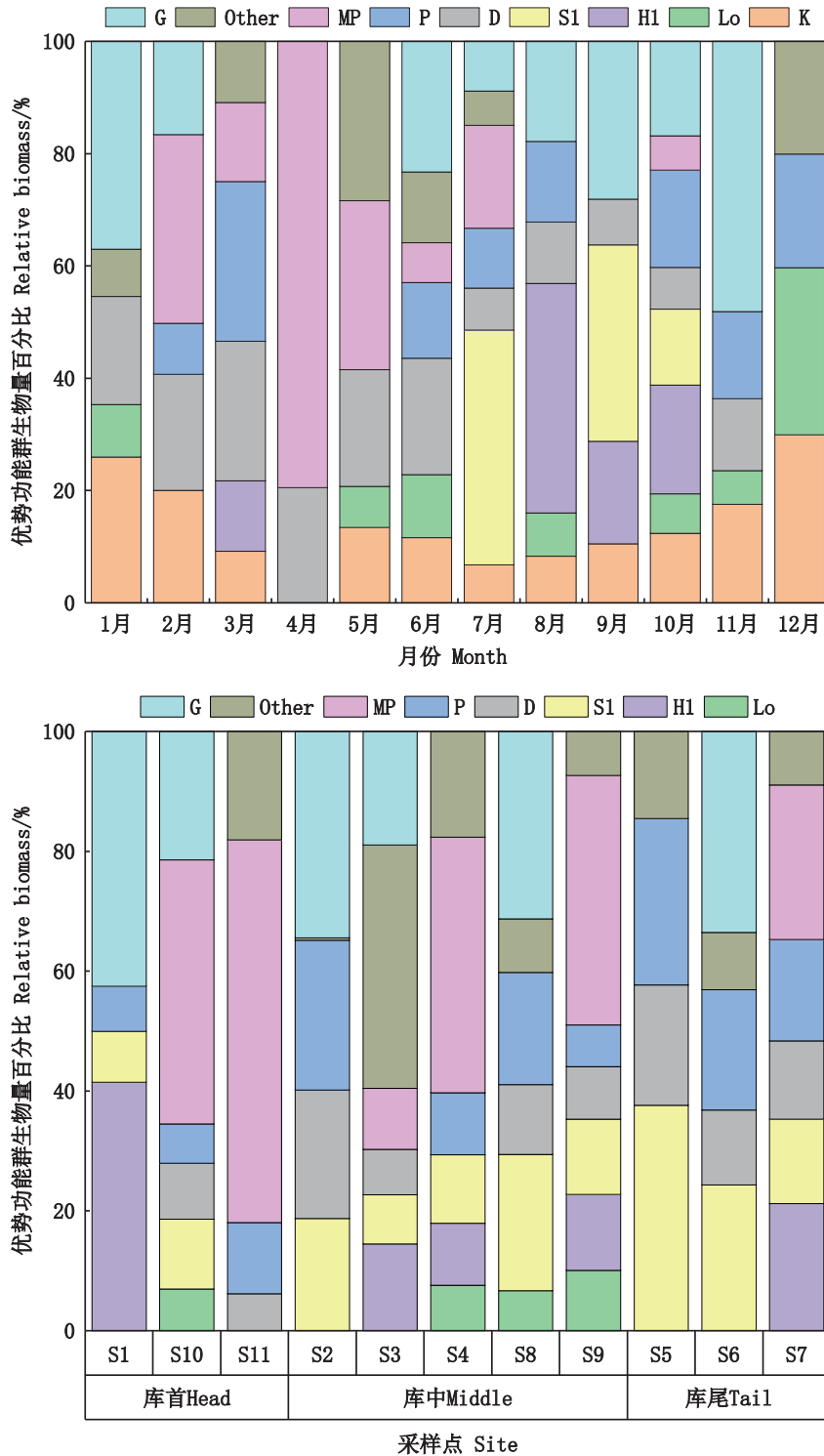


图3 浮游植物优势功能群生物量的时空分布

Fig. 3 Spatial-temporal distribution of biomass of dominant phytoplankton functional groups

2.3.2 浮游植物优势功能群与环境因子分析

通过CANOCO5.0对青草沙水库中10组浮游植物优势功能群的生物量分别进行去趋势对应分析(DCA),发现长度梯度为2.10(小于3),因此选用线性模型冗余分析(RDA)。分析结果表明

轴1和轴2的特征值分别为0.35、0.17,共解释了52.17%的浮游植物优势功能群生物量与环境因子关系,说明本次排序分析较好地解释了优势功能群生物量与环境因子的关系。排序图中NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N、DO、WT和SD是影响浮游植物优势功能群分布最

主要的环境因子,所有功能群受pH、EC和TP影响较小。WT和Chl.a与功能群S1有较强正相关关系,与功能群G、H1、K、D和MP呈正相关但关系不显著,与功能群F和B呈负相关;DO、SD与F和B功能群呈正相关,而与功能群S1、G、和H1呈负相关;功能群LO、P、K、H1、G和F与TN、TP呈正相关关系,而功能群D和MP则与之呈负相关关系。见图4。

2.4 青草沙水库进水口、出水口与库区浮游植物群落结构及功能群组成的对比

调查时间段,进水口有K、T、B、P、D、MP、X1、Lo、TB、J、F、S1、TC、C、X2功能群15组,出水口有19组,分别为K、B、C、D、H1、J、K、Lo、MP、P、S1、TB、X1、X2、T、F、X3、TC、G,进出水口功能群组成差别不大,且都包含于库区发现的25组功能群中。

进水口年均生物密度和生物量分别为 $118.17 \times 10^4 \text{ cell/L}$ 、 $0.16 \text{ mg/L}$ ,与进水口相比,库区年均生物密度和生物量分别上升了61.19%和75.29%,出水口年均生物密度和生物量分别上升了34.85%和50.12%。方差分析结果表明进水口与库区年均生物密度及生物量值呈极显著差异( $P < 0.01$ ),出水口与库区之间年均生物密度及生物量呈显著性差异( $P < 0.05$ );而进水口与出水口之间生物密度无显著性差异,但生物量呈显著性差异( $P < 0.05$ )。见图5。

进出水口优势功能群演替见图6,2021年进

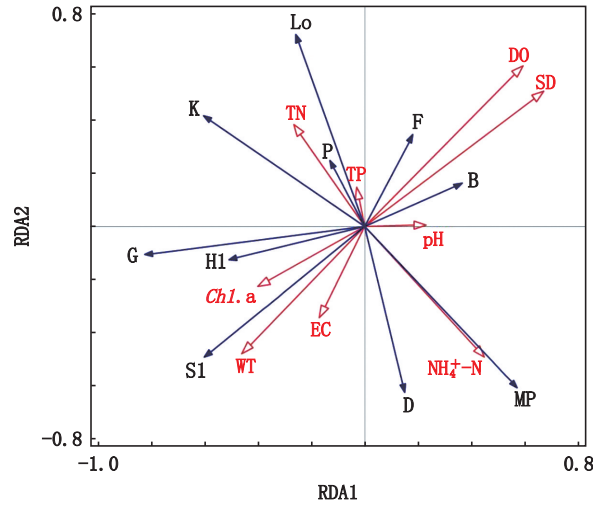


图4 浮游植物功能群与环境因子的RDA分析  
Fig.4 RDA analysis of phytoplankton functional groups and environmental factors

水口全年优势功能群有K、Lo、S1、P、MP、B、TB、TC、F共10组,K功能群每月均为优势功能群,且出现频率最高;K、MP和P功能群生物量在冬春季占比较高;夏季以喜高温的S1、K和Lo功能群为主,且S1功能群生物量在夏季最高,占比达40%;秋季则以K和P功能群为主;总体来说,进水口优势功能群的时间变化同库区相似。出水口全年优势功能群有K、Lo、S1、D、P、MP、B、G、F、J、X1、T共12组,优势功能群变化同进水口和库区基本一致,冬春季节以MP和P功能群为主,夏秋季节以功能群S1为主。

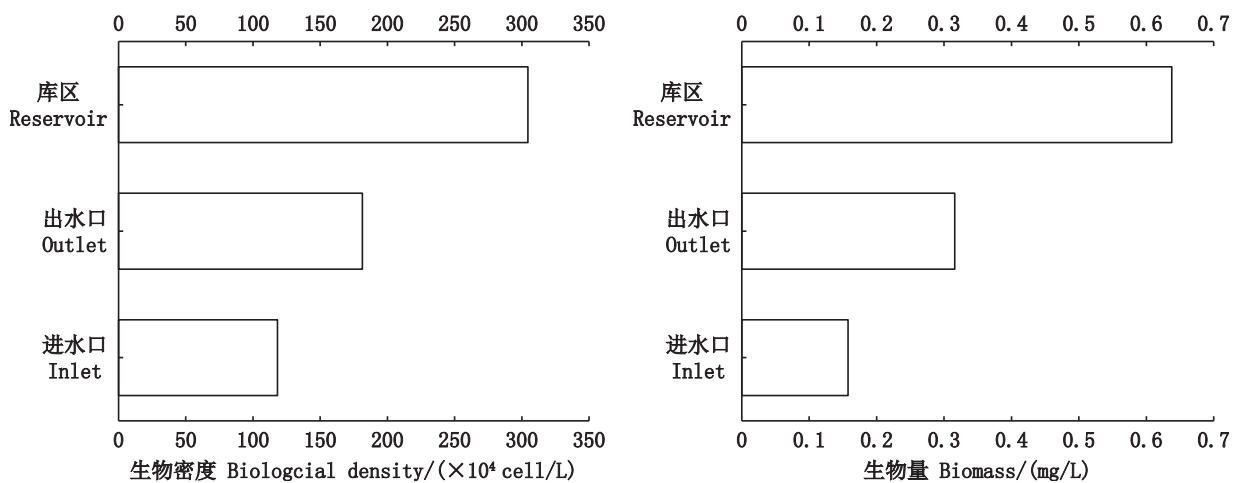


图5 进水口和出水口浮游植物年均生物密度及生物量的对比  
Fig.5 Changes of phytoplankton density and biomass at inlet and outlet of water

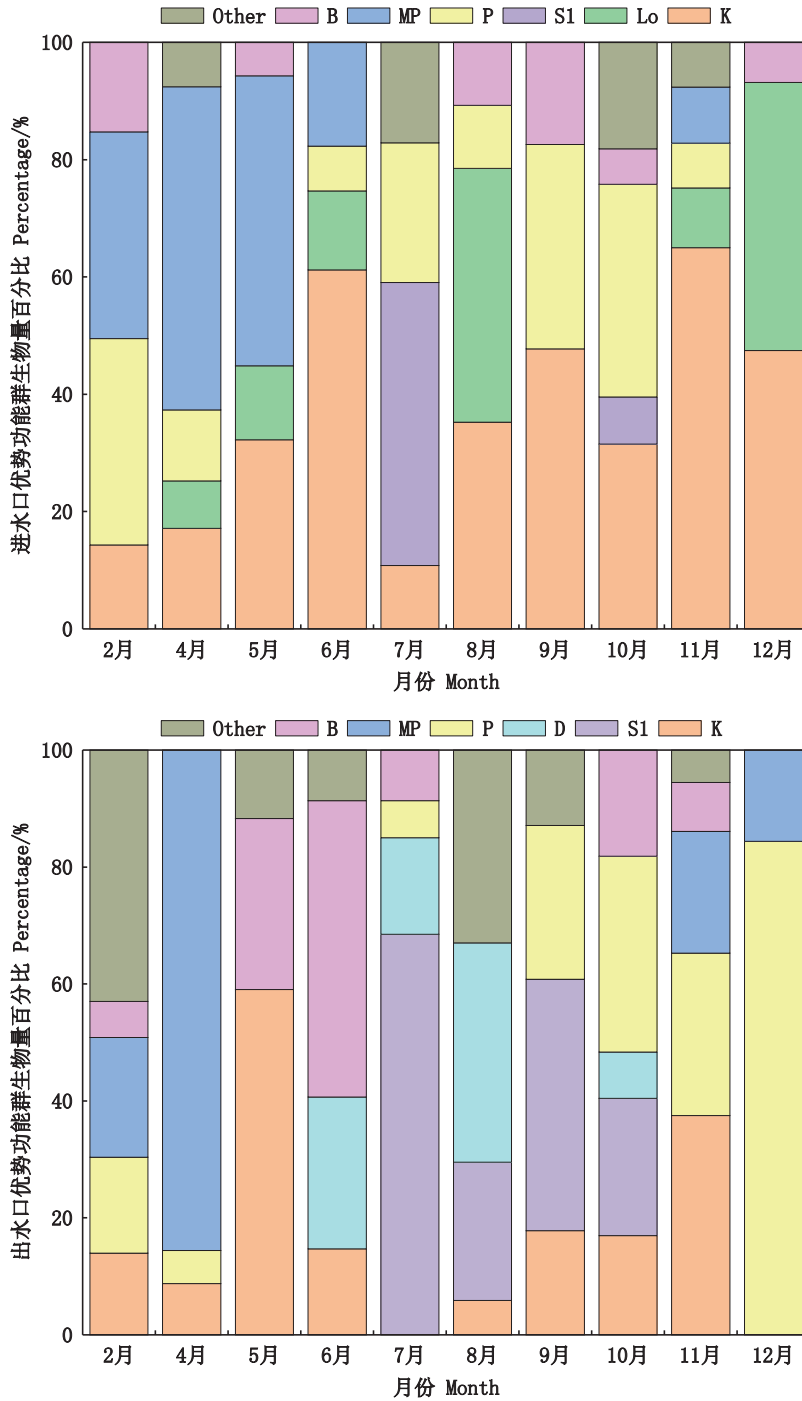


图6 进水口和出水口浮游植物优势功能群时间变化

Fig. 6 Temporal variation of dominant functional groups of phytoplankton at inlet and outlet

### 3 讨论

#### 3.1 浮游植物功能群的演替特征

水体营养特征、水文环境和人为干扰等因素对浮游植物的空间和空间分布具有重要影响,它们的空间分布特征可以很好地反映水库的生态功能和水质特征<sup>[23]</sup>,研究期间,青草沙水库共划

分出 25 个功能群,各功能群类型中的浮游植物以蓝藻门、硅藻门和绿藻门这 3 门种类为主,其中种类数最多的 J 功能群均属于绿藻门,与金泽水库<sup>[22]</sup>25 个、四明湖水库<sup>[24]</sup>22 个和汤浦水库<sup>[3]</sup>24 个功能群的调查结果基本一致,它们都属于亚热带型水库,所处地区经纬度相差不大,所以功能群组成也基本一致。



青草沙水库浮游植物功能群存在时空差异,功能群演替比较明显,研究期间,各功能类群的生物量主要以K、H1、S1、MP、G、D和P功能群为主且D、K功能群为全年优势功能群。冬季及初春(12—3月),以K、D和P功能群占绝对优势,一般认为蓝藻适应高温生活,但近年来的研究发现,蓝藻的生长周期延长,甚至在冬季也存在爆发风险<sup>[25]</sup>,在徐琼<sup>[26]</sup>等人的研究中发现隐球藻在20℃左右水温或更低水温的月份可以成为浮游植物的优势种,因此在本研究的12月和1月中,以隐球藻属为主的K功能群占有很大优势;功能群D和P的代表种类以硅藻类群为主,多生长于光照较弱、温度较低的中营养浅水水体<sup>[6]</sup>,其中主要是D功能群中的针杆藻属、菱形藻属和P功能群中的沟链藻属,这一时期较低的水温使它们在竞争中取得优势<sup>[27-28]</sup>。由于春季末(4、5月)温度还比较低,优势功能群仍以D功能群为主,此间P功能群逐渐消退,以舟形藻属为代表的MP功能群大量繁殖并迅速占据主导地位。夏季温度升高使得浮游植物大量增殖,以喜高温的束丝藻属、假鱼腥藻属为主的H1、S1和G功能群在7—10月开始大量繁殖并占据主导地位,功能群H1、S1和G适宜生长在温度较高的季节,此时的水温有利于其生长和繁殖。浮游植物的大量繁殖使得SD降低,这为适合在低光照浑浊型水体中生存的功能类群D和MP提供了良好的条件<sup>[3-4]</sup>;同时,D和MP功能群也是除H1和S1功能群外夏季主要的优势功能群,这是因为水体环境中高的pH符合D和MP功能群的生长环境需求<sup>[6]</sup>。从空间上看,功能群S1的生物量从库首至库尾呈现逐渐升高的趋势,库首至库尾水体不断加深,利于功能群S1的代表藻种生长。MP功能群则呈现出从库首至库尾逐渐降低的趋势,这是因为MP功能群适合生存于经常性搅动、浑浊、浅水水体环境中。总体来说,库首、库中和库尾浮游植物功能群结构无显著性差异,这可能与水体在青草沙停留周期较长,水库形成了较为稳定的群落结构有关。在本次调查中,功能群D的生物量主要来源于针杆藻属,由于其比表面积较大且带有负电荷,数量多时容易聚集在一起,使其悬浮于水层中难以下沉,进而导致透明度降低<sup>[29]</sup>。此外,由于针杆藻的体型较大无法作为轮虫的理想食物来源,这也是造成夏季轮虫生物量逐渐降低的原因之一<sup>[24]</sup>。

### 3.2 浮游植物功能群与环境因子的相关性

许多研究表明,WT对浮游植物的丰度演替有很大影响,是决定浮游植物组成的最重要环境因素之一<sup>[29-32]</sup>。青草沙水库浮游植物生物量在9月份达到峰值,夏季最高,冬季最低,这与温度变化趋势相似,表明温度在青草沙水库浮游植物变化中起着重要作用,主要功能群S1、H1、K和MP与WT呈正相关。WT的周期性变化会导致水体中其他环境因子随之发生改变,相关性分析可知WT与Chl.a呈显著正相关性,与SD、DO呈显著负相关,这说明温度在调节浮游植物生长同时,对水体中其他因素的变化也产生了一定的影响,进而间接影响浮游植物的变化<sup>[21]</sup>,夏季WT的升高伴随着DO的降低,同时浮游动物的大量繁殖导致耗氧量增加,进一步降低水中的DO,加上高WT和低SD,以耐高温、喜混浊的伪鱼腥藻属为主的S1功能群在夏季和秋季流行,而喜欢在水温和浑浊度相对偏低环境中发育的以小环藻属为主的B功能群在此时则不占据优势。以长孢藻、束丝藻、隐球藻、色球藻等构成的功能群H1、K、L0均与TN和TP含量呈显著正相关,这几个功能群常是富营养水体中的优势功能群,有研究指出<sup>[33]</sup>,TP和NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N会直接对浮游植物物的群落结构产生影响,营养盐类对浮游生物的生长均有较大关联,与本研究结果相似,调查期间,夏秋季节的TN和TP含量较高,蓝藻得以充分利用N元素和P元素迅速繁殖生长,从某种程度上也决定了K功能群在夏秋季节占有绝对优势。

### 3.3 进水口、出水口和库区浮游植物的对比

青草沙水库属于半开放性流动水体,常年从长江引水,除了水库自身会发生生态演替外,长江来水的营养状况和藻类种类也会对该水库浮游植物种类组成及优势种的形成产生重要影响<sup>[34-35]</sup>。近年来,国家通过一系列排查整治专项行动、河湖长制等政策措施的推进,长江流域水质持续改善<sup>[36-37]</sup>。长江口上游来水水质得到了显著提高,氨氮和总磷浓度持续降低,对长江口水质改善起到了关键作用,水质类别从IV类提升到了II类<sup>[38]</sup>。研究表明,长江口近5年来除浮游动物种类数量和生物多样性指数变化不明显外,浮游植物和底栖生物种类数量呈现下降趋势,浮游植物生物多样性指数呈上升趋势,而底栖生物多样性指数呈波动下降趋势<sup>[39]</sup>,这也与本研究结果

中浮游植物的状态相似。青草沙水库自长江口流入,由于库内水柱变得稳定,停留时间长达15~35 d,流速减慢,悬浮颗粒开始沉积过程,水下光照条件得到改善,因此它成为一个相对静水的系统,水库的水文变化导致了浮游植物群落的构建,并为藻类生长形成了相对良好的水下光照条件<sup>[40]</sup>,所以相比于进水口而言,库内浮游植物有了更好的生存条件,开始大量繁殖。进水口流速较出水口大,水体状况不稳定,且加之受外来水体影响较大,因此无论是浮游植物生物密度、生物量还是功能群组成上均不及出水口,以异极藻属为代表的TB功能群喜在水流湍急的水体生存,故仅在进水口处为优势功能群;出水口透明度高,流速小,吴晓辉等<sup>[41]</sup>认为随着水流速度变缓、透明度增加,有利于绿藻门的生长,因此以栅藻属、盘星藻属、四角藻属为代表的J功能群和以纤维藻属为代表的X1功能群在出水口处出现频率较高,并成为优势功能群。

与浮游植物相比,大型水生植物个体较大且生命周期长,在争夺生存空间、光照以及养分吸收等方面占有绝对优势,可以直接抑制浮游植物的生长<sup>[40]</sup>,2017年9月在水库北堤上游至下游水闸段进行生态护坡工程建设,生态护坡具有调节水文、维持生态系统稳定性的功能,近年来众多的研究成果<sup>[42-44]</sup>表明,生态护坡坡脚的沉水植物能有效地清除水中各种污染物,如化学需氧量、总氮、总磷,同时沉水植物会对浮游植物的群落结构产生一定的影响,抑制藻类大量生长,防治水体富营养化。另在出水口处设置拦藻网进行物理拦截,在一定程度上减少了出水口藻类的生物量。为防治水体富营养化,根据非生物操纵理论采取投放滤食性的鲢、鳙鱼类措施来控制藻类密度,自2013年起,管理部门根据青草沙水库水生生物的变动,在输水区和北堤投放了约500 g的鲢鳙苗约100万尾,藻类指标有明显下降,水质提升<sup>[45]</sup>。在水库中放养滤食性鱼类控藻是现今最经济简便的防治水体富营养化方法,但由于鲢鳙鱼的滤食器官特殊,只能滤食大于鳃孔的藻类,这就造成了非群体的微小浮游植物不但不能被滤食反而会因为减少了大型藻类的竞争和浮游动物的摄食,促进小型藻类的发展,导致蓝藻门的密度较高,这也与调查期间功能群K是库区全年优势功能群相吻合。

## 4 结论

2021年青草沙水库内共检测出藻类7门143种,进、出水口分别发现3门40种和5门48种,主要由蓝绿硅藻门种类组成,是典型的水库藻型。一年内水库划分为25个功能群,分别为K、S1、S2、B、Lo、T、C、D、F、G、T、H1、J、M、MP、N、P、TB、TC、W1、W2、X1、X2、X3、Y和SN为优势功能群,其中K、Lo、H1、S1、B、D、P、MP、F、G为优势功能群。浮游植物功能群呈现出P+MP+D+K→S1+H1+G→K+G+H1+S1→K+MP的周年演替特征。

与进水口相比,出水口营养盐年均值及生物密度、生物量值虽有所上升,但群落组成没有明显差异,水体水质符合饮用水标准。进出水口共有优势功能群为K、Lo、S1、P、MP和B等6组功能群,适宜生境为中营养水体,可见青草沙作为饮用水源水库,水质安全的保障极为重要,仍需要加强水质监测及水质净化力度。

RDA分析结果显示,青草沙水库浮游植物群落结构的周年演替受水体中环境因子的单独作用和因子之间交互作用的共同影响,主要的影响因子包括 $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 、DO、WT、*Chl.a*、SD和浮游动物的生物量。其中,WT为影响因素最大的单独作用因子,WT和浮游动物间的交互作用为最重要的交互作用因子。

## 参考文献:

- [1] 张真,胡忠军,史先鹤,等. 千岛湖浮游植物群落结构及功能群的划分[J]. 上海海洋大学学报,2019,28(1): 37-48. ZHANG Z, HU Z J, SHI X H, et al. Community structures and functional groups of phytoplankton in Qiandao Lake, China [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2019, 28(1): 37-48.
- [2] 董静,李艳晖,李根保,等. 东江水系浮游植物功能群季节动态特征及影响因子[J]. 水生生物学报,2013,(5):836-843. DONG J, LI Y H, LI G B, et al. Seasonal dynamics characteristics and affecting physical factors of phytoplankton functional groups in Dongjiang River [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2013, 37(5): 836-843.
- [3] 张俊芳,胡晓红,马沛明等. 汤浦水库浮游植物功能群季节演替及关键驱动因子[J]. 水生态学杂志, 2021, 42(3): 55-62. ZHANG J F, HU X H, MA P M, et al. Seasonal Succession Characteristics of Phytoplankton Functional Groups and Key Driving Factors in Tangpu Reservoir [J]. Journal of Hydroecology, 2021, 42(3): 55-62.

- [4] REYNOLDS C S, HUSZAR V, KRUK C, et al. Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton [J]. *Journal of Plankton Research*, 2002, 24(5): 417-428.
- [5] PADISÁK J, CROSSETTI L O, Naselli-Flores L. Use and misuse in the application of the phytoplankton functional classification: a critical review with updates [J]. *Hydrobiologia*, 2009, 621(1): 1-19.
- [6] 马婕, 申利亚, 何培民, 等. 苏州城区河道浮游植物功能群演替特征及其对环境因子的响应[J]. *上海海洋大学学报*, 2021, 30(1): 103-112.
- MA J, SHEN L Y, HE P M, et al. Succession characteristics and responses to environmental factors of phytoplankton functional groups in river courses in the urban area of Suzhou City [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2021, 30(1): 103-112.
- [7] 钱奎梅, 刘宝贵, 陈宇炜. 鄱阳湖浮游植物功能群的长期变化特征(2009-2016年)[J]. *湖泊科学*, 2019, 31(4): 1035-1044.
- QIAN K M, LIU B G, CHEN Y W. Long term dynamics of phytoplankton functional groups in Lake Poyang during 2009—2016 [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2019, 31(4): 1035-1044.
- [8] VAROL M. Phytoplankton functional groups in a monomictic reservoir: seasonal succession, ecological preferences, and relationships with environmental variables [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2019, 26: 20439-20453.
- [9] 杨威, 张菲云, 孙雨琛, 等. 淮南北湖浮游植物功能群的季节演替及影响因子研究[J]. *中国环境科学*, 2020, 40(7): 3079-3086.
- YANG W, LIU B G, SUN Y C. Seasonal succession and influencing factors of phytoplankton functional groups in Lake Nanhu, HuaiBei City [J]. *China Environmental Science*, 2020, 40(7): 3079-3086.
- [10] 葛优, 周彦锋, 王晨赫, 等. 阳澄西湖浮游藻类功能群演替特征及其与环境因子的关系[J]. *中国环境科学*, 2019, 39(7): 3027-3039.
- GE Y, ZHOU Y F, WANG C H, et al. Succession patterns of phytoplankton functional groups in western area of Yangcheng Lake and their relationship with environmental factors [J]. *China Environmental Science*, 2019, 39(7): 3027-3039.
- [11] 夏莹霏, 胡晓东, 徐季雄, 等. 太湖浮游植物功能群季节演替特征及水质评价[J]. *湖泊科学*, 2019, 31(1): 134-146.
- XIA Y F, HU X D, XU J X, et al. Seasonal succession of phytoplankton functional group and assessment of water quality in Lake Taihu [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2019, 31(1): 134-146.
- [12] HUANG Z F, ZHAO W T, XU T, et al. Occurrence and distribution of antibiotic resistance genes in the water and sediments of Qingcaosha Reservoir, Shanghai, China [J]. *Environmental Sciences Europe*, 2019, 31(1): 81.
- [13] CLOERN J. Our evolving conceptual model of the coastal eutrophication problem [J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2001, 210: 223-253.
- [14] CHEN Y, LIU R, SUN C, et al. Spatial and temporal variations in nitrogen and phosphorous nutrients in the Yangtze River Estuary [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2012, 64: 2083-2089.
- [15] YANG C T, NAN J, LI J H. Driving Factors and Dynamics of Phytoplankton Community and Functional Groups in an Estuary Reservoir in the Yangtze River, China [J]. *Water*, 2019, 11(6): 1184.
- [16] Schindler D W. The dilemma of controlling cultural eutrophication of lakes [J]. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2012, 279, 4322-4333.
- [17] 陈伟民, 黄祥飞, 周万平. 湖泊生态系统观测方法[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2005: 23-35.
- CHEN W M, HUANG X F, ZHOU W P. Methods for observing lake ecosystems [M]. 2005. Beijing: China Environmental Science Press, 2005: 23-35.
- [18] 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.
- HU H J, WEI Y X. The freshwater algae of China: systematics, taxonomy and ecology [M]. Beijing: Science Press, 2006.
- [19] 朱浩然. 中国淡水藻志(第九卷)蓝藻门, 藻殖段目[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- ZHU H R. Annals of Freshwater Algae of China (Volume IX) Cyanobacteria, Algophotria [M]. Beijing: Science Press, 2007.
- [20] 水利部水文局, 长江流域水环境监测中心. 中国内陆水域常见藻类图谱[M]. 武汉: 长江出版社, 2012.
- DENG J. Atlas of common algae in inland waters of China [M]. Wuhan: Yangtze River Press, 2012.
- [21] 崇璘璇, 刘儒汗, 尹丽平, 等. 网围养蟹对浮游植物群落结构变化的影响[J]. *上海海洋大学学报*, 2019, 28(2): 237-246.
- CHONG L X, LIU R H, YIN L P, et al. Effect of pen crab farming on phytoplankton community structure [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2019, 28(2): 237-246.
- [22] 赵丹, 王文婷, 陈诗雨, 等. 金泽水库浮游植物功能群时空变化特征[J]. *环境科学学报*, 2022, 42(11): 445-454.
- ZHAO D, WANG W T, CHEN S Y, et al. Temporal and spatial variation of phytoplankton functional groups in Jinze Reservoir [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2022, 42(11): 445-454.
- [23] 韩丽彬, 王星, 李秋华, 等. 贵州高原百花水库浮游植物功能群的动态变化及驱动因子[J]. *湖泊科学*, 2022, 34(4): 1102-1114.
- HAN L B, WANG X, LI Q H, et al. Dynamic changes and



- driving factors of phytoplankton functional groups in Baihua Reservoir, Guizhou Plateau[J]. *Journal of Lake Sciences*, 2022, 34(4):1102-1114.
- [24] 郑诚,陆开宏,徐镇,等. 四明湖水库浮游植物功能类群的季节演替及其影响因子[J]. *环境科学*, 2018, 39(6): 2688-2697.
- ZHENG C, LU K H, XU Z, et al. Seasonal succession of phytoplankton functional groups and their driving factors in the Siminghu Reservoir[J]. *Environment Science*, 2018, 39(6):2688-2697.
- [25] 申利亚,赵丹,陈立婧,等. 上海青草沙水库生态护坡区浮游植物的群落结构[J]. *上海海洋大学学报*, 2022, 31(2): 400-410.
- SHEN L Y, ZHAO D, CHEN L J, et al. Phytoplankton community structure of ecological slope protection area of Shanghai Qingcaosha reservoir [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2022, 31(2): 400-410.
- [26] 徐琼,贾克力,李文宝,等. 达里诺尔湖夏季浮游植物群落结构及分布特征[J]. *水生态学杂志*. 2016, 37(6): 14-22.
- XU Q, JIA K L, LI W B, et al. Characteristics of the Summer Phytoplankton Community Structure in Dalinor Lake[J]. *Journal of Hydroecology*, 2016, 37(6): 14-22.
- [27] JING N, LI J H, YANG C T, et al. Phytoplankton functional groups succession and their driving factors in a shallow subtropical lake[J]. *Journal of Freshwater Ecology*, 2020, 35(1):409-427
- [28] 蒋绍阶,蒋晖,向平,等. 强化混凝去除尖刺杆藻[J]. *环境工程学报*, 2013, 7(9):3312-3318.
- JIANG S J, JIANG H, XIANG P, et al. Removal of synedra acus by enhanced coagulation[J]. *Chinese Journal of Environmental Engineering*, 2013, 7(9):3312-3318.
- [29] INTERLANDI S J, KILHAM I S S. Limiting resources and the regulation of diversity in phytoplankton communities[J]. *Ecology*, 2001, 82(5):1270-1282.
- [30] BERGER S A, DIEHL S, STIBOR H, et al. Separating effects of climatic drivers and biotic feedbacks on seasonal plankton dynamics: No sign of trophic mismatch. *Freshwater Biology*[J]. 2014, 59(10): 2204-2220.
- [31] TIAN C, HAO D, PEI H, et al. Phytoplankton functional groups variation and influencing factors in a shallow temperate lake. *Water Environment Research*[J]. 2018, 90(6): 510-519.
- [32] LEITÃO M, MORATA S M, RODRIGUEZ S, et al. The Effect of perturbations on phytoplankton assemblages in a deep reservoir (Vouglans, France) [J]. *Hydrobiologia*, 2003, 502(1/3): 73-83
- [33] 孙晓梅,刘绍平,段辛斌,等. 长江中游江段浮游生物群落结构及其与环境因子的关系[J]. *淡水渔业*, 2021, 51(3):3-12.
- SUN X M, LIU S P, DUAN X B, et al. Plankton community structure and its relationship with environmental factors in the middle reaches of the Yangtze River[J]. *Freshwater Fisheries*, 2021, 51(3):3-12.
- [34] 陶晶晶. 滴水湖及其外围水体浮游植物群落结构与水质评价[D]. 上海: 上海师范大学, 2013.
- TAO J J. Study on the Change Structure of Phytoplankton Community and water quality evaluation in Dishui Lake and its surrounding waters [D]. Shanghai: Shanghai Normal University, 2013.
- [35] 周莉莉. 河口水库浮游植物变化特征及环境管理体系探讨[D]. 上海: 华东师范大学, 2016.
- ZHOU L L. Research on Phytoplankton and environmental management system of Estuarine Reservoir [D]. Shanghai: East China Normal University, 2016.
- [36] FRENKEN T, VELTHUIS M, DE SENERPONT DOMIS L N, et al. Warming accelerates termination of a phytoplankton spring bloom by fungal parasites [J]. *Global Change Biology*, 2015, 22(1):299-309.
- [37] 马建华,王永忠. 论长江口的综合整治与开发[J]. *人民长江*, 2005, 36(7): 9-17.
- MA J H, WANG Y Z. The comprehensive harnessing and development of the Yangtze river mouth [J]. *Yangtze River*, 2005, 36(7):9-17.
- [38] 王永忠,陈肃利. 长江口综合整治开发研究总体思路及规划方案[J]. *水利水电快报*, 2006, 27(4): 1-4.
- WANG Y Z, CHEN S L. Overall thinking and planning scheme of Yangtze River Estuary comprehensive regulation and development research[J]. *Express Water Resources & Hydropower Information*, 2006, 27(4): 1-4.
- [39] 胡雄星. 1991—2020年长江口水质变化趋势分析[J]. *人民长江*, 2022, 53(s1):5-9.
- HU X X. Trend analysis of water quality in the Yangtze Estuary from 1991 to 2020 [J]. *Yangtze River*, 2022, 53(s1): 5-9.
- [40] 王艳,王彪,等. 长江口生态环境问题及保护修复策略研究[J]. *环境保护*, 2022, 50(11):44-47.
- WANG Y, WANG B, LU S Q, et al. Research on the protection and restoration strategy of ecological and environmental problems in the Yangtze River Estuary [J]. *Environmental Protection*, 2022, 50(11):44-47.
- [41] 吴晓辉,李其军. 水动力条件对藻类影响的研究进展[J]. *生态环境学报*, 2010, 19(7):1732-1738.
- WU X H, LI Q J. Reviews of influences from hydrodynamic conditions on algae, *Ecology and Environment Sciences*, 2010, 19(7):1732-1738.
- [42] Matthew A, Brian R, John R V, et al. Movement, habitat use, and survival of juvenile grass carp in an Appalachian reservoir[J]. *Environmental Biology of Fishes*, 2020, 103-SI(5): 495-507.
- [43] 孔宇,王子杰,闵辰琦,等. 生态护坡植物在河道水质净化中的研究进展[J]. *应用化工*, 2019, 48(5): 1233-

- 1236,1241.  
KONG Y, WANG Z J, MIN C Q, et al. Research progress of ecological slope protection plants in river water purification [J]. Applied Chemical Industry, 2019, 48 (5):1233-1236,1241.
- [44] 姚远,贺锋,胡胜华,等. 沉水植物化感作用对西湖湿地浮游植物群落的影响[J]. 生态学报, 2016, 36(4): 971-978.  
YAO Y, HE F, HU S H, et al. Effects of allelopathy of submerged macrophytes on the phytoplankton community collected from the west part of the West Lake wetland in Hangzhou, China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(4): 971-978.
- [45] 易欣鑫,蔡之惊,秦智杰,等. 上海青草沙水库鱼类群落结构的年际变化[J]. 上海海洋大学学报, 2021, 30(4): 664-674.  
YI X X, CAI Z Q, QIN Z J, et al. Analysis of interannual variations for the fish community structure in Shanghai Qingcaosha Reservoir [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2021, 30(4):664-674.

## Spatiotemporal variation of phytoplankton communities and their relationship with environmental factors in Shanghai Qingcaosha Reservoir

WANG Wenting<sup>1</sup>, LI Feng<sup>2</sup>, XU Saisai<sup>1</sup>, CHEN Shiyu<sup>1</sup>, CHEN Lijing<sup>1,2</sup>

(1. Environmental DNA Technology and Water Ecological Health Assessment Engineering Center, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Shanghai Vocational College of Agriculture and Forestry, Shanghai 201699, China)

**Abstract:** In order to explore the temporal and spatial variation characteristics of phytoplankton functional groups in Qingcaosha Reservoir, Shanghai, and their relationship with environmental factors, as well as the similarities and differences between the characteristics of phytoplankton communities at the inlet and outlet and the reservoir, monthly phytoplankton surveys were conducted in 2021, and the data were analyzed using the phytoplankton functional group (FG) method and redundancy analysis (RDA). The results showed 143 species of phytoplankton were identified in Shanghai Qingcaosha Reservoir during the investigation. The average biomass of phytoplankton was  $(0.64 \pm 0.35)$  mg/L. There were 25 functional groups of phytoplankton in the reservoir, among which K, Lo, H1, S1, B, D, P, MP, F and G were dominant functional groups. There were 3 phyla and 40 species in the inlet water, 5 phyla and 48 species in the outlet water. These species belonged to 15 groups and 19 functional groups. There were five groups and nine groups of dominant function groups in the inlet and outlet water, respectively. The average annual biological density and biomass of the inlet water were  $118.17 \times 10^4$  cell/L and 0.16 mg/L, respectively. Compared with the inlet water, the average annual biological density and biomass of the outlet water increased by 34.85% and 50.12%, respectively, and there was a significant difference between the inlet water and outlet water biomass. The ANOVA analysis showed that there was no significant difference in the composition of phytoplankton functional groups at the head, middle and tail of the reservoir, and the species similarity of the three reservoirs was moderate. Redundancy analysis (RDA) showed that water temperature (WT), ammonia nitrogen ( $\text{NH}_4^+-\text{N}$ ) and dissolved oxygen (DO) were the main environmental factors affecting the dominant functional groups of phytoplankton in Qingcaosha Reservoir. In this study, the division and succession of phytoplankton functional groups in Qingcaosha Reservoir were analyzed, and the differences of phytoplankton functional groups in the inlet water and outlet water were compared, which provided a theoretical basis for the protection of water resources in the reservoir.

**Key words:** Qingcaosha Reservoir; phytoplankton functional groups; temporal and spatial variation; environmental factor