

## 不同水文期大型通江湖泊洞庭湖浮游植物时空分布规律

王勇 (湖北工业大学土木建筑与环境学院, 湖北武汉 430068)

**摘要** 以通江湖泊洞庭湖浮游植物为研究对象, 明确通江湖泊洞庭湖在不同水文期藻类群落结构和动态变化特征, 并根据 Shannon-Wiener 多样性指数、Margalef 丰富度指数和 Pielou 均匀度指数对湖区水质进行评价。结果表明, 2018 年对洞庭湖流域进行了浮游植物生物调查, 共检出 6 门 51 属, 其中绿藻门 19 属, 占 37.26%; 硅藻门最多, 为 21 属, 占 41.18%; 裸藻门 4 属, 占 7.84%; 蓝藻门和甲藻门各 3 属, 各占 5.88%; 隐藻门最少, 仅有 1 属, 占 1.96%。优势种全湖以硅藻门和绿藻门为主, 主要优势种为直链藻、针杆藻、舟形藻、栅藻、小球藻、席藻和隐藻。全湖浮游植物细胞密度在  $7.2 \times 10^4 \sim 300.6 \times 10^4$  cells/L, 均值为  $27.2 \times 10^4$  cells/L。从时间分布看, 浮游植物细胞密度均值从大到小依次为丰水期>涨水期>枯水期>退水期, 涨水期—丰水期和枯水期—退水期的藻类分布存在差异明显; 从空间分布看, 东洞庭湖的大小西湖断面藻类密度最大, 均值达  $220.9 \times 10^4$  cells/L, 最低值在入湖口, 均值为  $10.2 \times 10^4$  cells/L, 东洞庭湖与其他湖区存在差异明显, 大小西湖与东洞庭湖内其他断面也存在差异明显。根据多样性指数来看, 洞庭湖水质总体上呈现为中度污染。

**关键词** 通江湖泊; 洞庭湖; 浮游植物; 时空分布; 多样性指数

中图分类号 Q 948.8 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2022)08-0061-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.08.017



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

### Temporal and Spatial Distribution of Phytoplankton in Large Tongjiang Lake Dongting Lake in Different Hydrological Periods

WANG Yong (College of Civil Engineering and Environment, Hubei University of Technology, Wuhan, Hubei 430068)

**Abstract** Taking the phytoplankton in Dongting Lake of Tongjiang Lake as the research object, the community structure and dynamic change characteristics of phytoplankton in different hydrological periods were clarified. The water quality of the lake was evaluated according to Shannon-Wiener diversity index, Margalef richness index and Pielou evenness index. The results showed that phytoplankton survey was conducted in the Dongting Lake Basin in 2018, and a total of 6 phyla and 51 genera were detected, including 19 genera of Chlorophyta, accounting for 37.26%; Bacillariophyta was the most, 21 genera, accounting for 41.18%; there were 4 genera of Gymnophyta, accounting for 7.84%; Cyanophyta and Dinoflagellates belonged to 3 genera respectively, accounting for 5.88%; Cryptophylum was the least, only one genus, accounting for 1.96%. The dominant species were Bacillariophyta and Chlorophyta, and the main dominant species were *Melosira granulata*, *Synedra radians*, *Navicula tenera*, *Scenedesmus*, *Chlorella vulgaris*, *Phormidium* and *Cryptophyta*. The cell density of phytoplankton in the whole lake ranged from  $7.2 \times 10^4$  to  $300.6 \times 10^4$  cells/L, with an average value of  $27.2 \times 10^4$  cells/L. From the perspective of time distribution, the mean value of phytoplankton cell density from large to small is in the order of wet season>flood period>dry season>retrograde period, there were obvious differences in the distribution of algae in the flood period-water season and the dry season-recession period. From the perspective of spatial distribution, the algae density of East Dongting Lake was the largest in the West Lake section, with an average value of  $220.9 \times 10^4$  cells/L, and the lowest value was at the entrance of the lake, with an average value of  $10.2 \times 10^4$  cells/L. There were obvious differences between the East Dongting Lake and other lake areas, and there were also obvious differences between the large and small West Lake and other sections in the East Dongting Lake. According to the diversity index, the water quality of Dongting Lake was moderate pollution.

**Key words** Tongjiang Lake; Dongting Lake; Phytoplankton; Spatial and temporal distribution; Diversity index

洞庭湖是我国大型淡水湖泊之一, 具有多种生态功能, 包括调蓄洪水、保护生物多样性和消纳污染物等。洞庭湖作为长江中下游第一个通江湖泊, 江-湖之间相互作用、相互制约, 长期演变形成了错综复杂的江湖关系。国外鲜见江湖关系的研究, 少数研究也只是涉及河-湖水量交换变化特征<sup>[1-2]</sup>。近年来, 随着上游三峡水利枢纽的兴建运行与荆江裁弯的完成, 引起了洞庭湖水文变异<sup>[3]</sup>。通江湖泊以水位为代表的水文要素呈现出新的变化规律, 并呈现出蓄水量减少、水位降低、流速减慢、湖泊换水周期延长等特点。浮游植物的重要功能是能够敏感准确地反馈生态系统演变过程, 21 世纪以来, 洞庭湖湖区多数水域已受到氮、磷等污染, 水质逐渐趋向于恶化状态, 水位变化和泥沙淤积趋缓协同改变了洞庭湖湿地原有植被演替方式。正是因为这些变化导致了洞庭湖水生植被减少、浮游植物大量增加、水华暴发等水环境问题<sup>[4]</sup>, 并对当地居民利用水资源存在着潜在威胁<sup>[5]</sup>。

目前关于浮游植物的分布规律多为现象描述及基于简

单的数理统计分析所得出的结果, 水生态系统研究多集中在水动力、水质等方面, 而围绕浮游植物所开展的分布规律的研究较少。笔者根据水文节律, 可以划分为枯水期(1—3 月)、涨水期(4—6 月)、丰水期(7—9 月)和退水期(10—12 月)4 个水文期, 在 4 个水文期的变化过程中, 湖区分别呈现出河流型—过渡型—湖泊型 3 种生态系统类型。基于现场监测数据, 运用相关生态学理论和数理统计分析结果, 分析洞庭湖这一典型通江湖泊的浮游植物分布规律, 揭示洞庭湖水体的水质污染状况, 为洞庭湖流域生态环境监测和修复提供基础数据和科学依据。

### 1 材料与方法

**1.1 研究区域与采样点设置** 洞庭湖位于湖南省北部(111°40'~113°40'E, 28°30'~30°20'N)、长江中游荆江南岸, 北接长江“三口”(松滋、太平、藕池), 南纳“四水”(湘江、资水、沅江、澧水), 由东北面的岳阳城陵矶汇入长江, 湖体呈近似“U”字型。受泥沙淤积、筑堤建垸等自然和人类活动的影响, 洞庭湖被分割为西洞庭湖、南洞庭湖和东洞庭湖。洞庭湖为典型的过水性洪道型湖泊, 兼具河流与湖泊双重属性<sup>[6]</sup>, 调查时间为 2018 年 3、6、9、12 月份对应的 4 个水文

**作者简介** 王勇(1995—), 男, 湖北麻城人, 硕士研究生, 研究方向: 生态水文学

**收稿日期** 2021-05-18; **修回日期** 2021-08-28

期,洞庭湖监测断面共设置 13 个(图 1),各采样断面经纬度 见表 1。

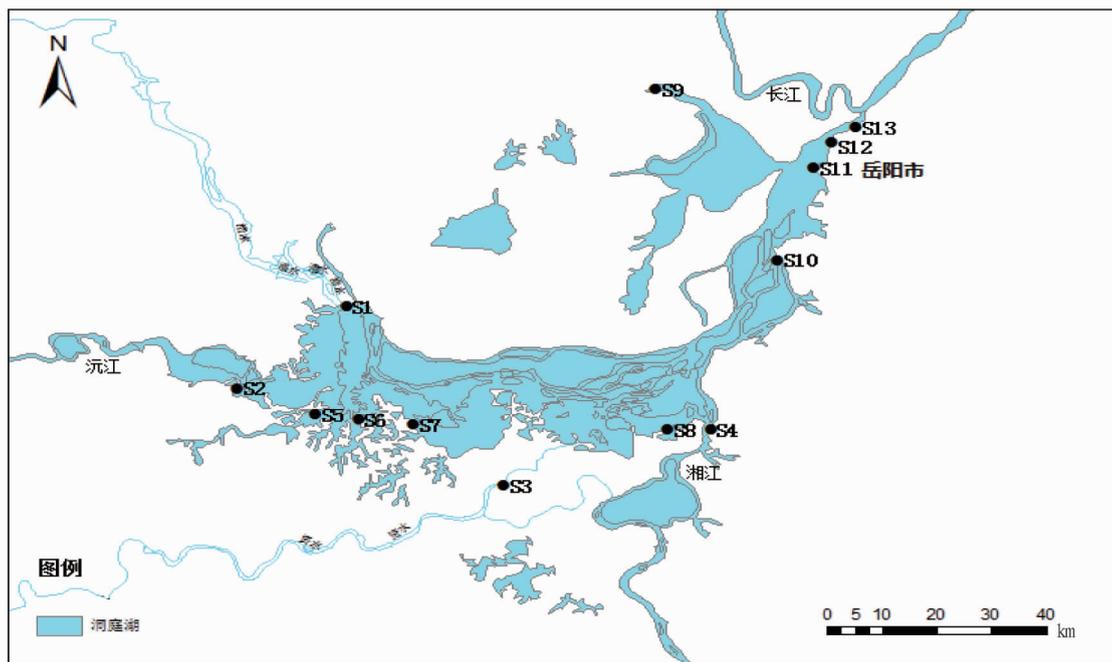


图 1 洞庭湖采样断面示意图

Fig.1 Schematic diagram of sampling section of Dongting Lake

表 1 洞庭湖各采样断面分布

Table 1 Distribution of sampling sections in Dongting Lake

编号 No.	断面 Section	经度 Longitude	纬度 Latitude	分区 Partition
S1	南嘴	112°17'24"E	29°03'1.98"N	入湖口
S2	坡头	112°07'3.4"E	28°54'21.9"N	入湖口
S3	万家嘴	112°33'23.5"E	28°43'30"N	入湖口
S4	虞公庙	112°53'34.8"E	28°49'30"N	入湖口
S5	蒋家嘴	112°15'36"E	28°52'48"N	西洞庭湖
S6	小河嘴	112°18'36"E	28°51'36"N	西洞庭湖
S7	万子湖	112°24'44.6"E	28°50'9.9"N	南洞庭湖
S8	横岭湖	112°51'23.76"E	28°50'24"N	南洞庭湖
S9	大小西湖	112°49'39"E	29°28'44.4"N	东洞庭湖
S10	鹿角	113°00'36"E	29°57'14.4"N	东洞庭湖
S11	扁山	113°20'06"E	29°12'36"N	东洞庭湖
S12	岳阳楼	113°33'36"E	29°13'58.44"N	东洞庭湖
S13	洞庭湖出口	113°43'4.1"E	29°15'10.8"N	出湖口

**1.2 样品采集与分析** 浮游植物定性样品用 25#浮游生物网在表层水面采用“∞”拖曳,收集采集的样品,定量样品采集 1 000 mL 水样于塑料瓶中,现场加入 1.0%~1.5% 体积的鲁哥试剂进行固定,带回实验室自然沉淀 48 h 后,用虹吸管吸取上清液,将样品浓缩至 50 mL,保存供镜检。参照《中国淡水藻类:系统、分类及生态》<sup>[7]</sup>和《淡水浮游生物研究方法》<sup>[8]</sup>进行鉴定。

**1.3 数据分析** 利用 SPSS 17.0 和 Origin 2020 软件进行数据分析和绘图。当某种藻类优势度 ( $Y$ ) > 0.02 时,该物种即为优势种<sup>[9]</sup>。浮游植物的多样性分析采用 Shannon-Wiener 多样性指数 ( $H'$ )<sup>[10]</sup>、Margalef 丰富度指数 ( $D$ )<sup>[11]</sup>、Pielou 均匀度指数 ( $J$ )<sup>[9]</sup> 进行计算,具体计算方法如下:

$$H' = -\sum_{i=1}^S [(N_i/N) \log_2(N_i/N)] \quad (1)$$

$$D = (S-1)/\ln N \quad (2)$$

$$J = H'/\log_2 S \quad (3)$$

式中, $N$  为浮游藻类总个体数; $S$  为浮游藻类种类数; $N_i$  为第  $i$  种浮游藻类个体数。根据多样性指数评价标准(表 2),评价湖区水质状态<sup>[12]</sup>。

表 2 多样性指数评价标准

Table 2 Diversity index evaluation criteria

分级 Grading	多样性指数 Diversity index ( $H'$ )	丰富度指数 Richness index ( $D$ )	均匀度指数 Evenness index ( $J$ )
清洁 Clean	>3	>4	>0.5
中度污染 Moderate pollution	1~3	3~4	0.3~0.5
重度污染 Heavy pollution	<1	<3	<0.3

## 2 结果与分析

**2.1 浮游植物群落组成及优势种** 2018 年对洞庭湖流域进行浮游植物生物调查,共检出 6 门 51 属,其中绿藻门 19 属,占 37.26%;硅藻门最多,为 21 属,占 41.18%;裸藻门 4 属,占 7.84%;蓝藻门和甲藻门各 3 属,各占 5.88%;隐藻门最少,仅有 1 属,占 1.96%。全湖浮游植物群落组成在不同水文期存在明显差异(表 3);全湖以硅藻和绿藻门为主,枯水期藻类种属数最少,检测到了 36 属;涨水期和丰水期藻类种属数有所上升,分别达 40 和 42 属;退水期其种属数下降至 38 属。分湖区来看(表 4),东洞庭湖种属数最大,其次为西洞庭湖,随后是南洞庭湖、出湖口和入湖口。总体来看,涨水期和丰水期洞庭湖藻类较为丰富,而退水期和枯水期藻类种属数偏少,东洞庭湖种属最大,其他水域偏少,表明在涨水期和丰水

期的东洞庭湖有适宜的温度、光照和水动力等条件,藻类种属数逐渐增长,细胞密度迅速累积,另外藻类的生长需要一个过程,因此到退水期其种属数依然保持较高水平,随后进入枯水期其种属数进一步缩减。

表 3 洞庭湖浮游植物种属数组成

Table 3 Composition of phytoplankton species in Dongting Lake

门类 Category	枯水期 Dry season	涨水期 Flood period	丰水期 Wet season	退水期 Retrograde period
绿藻门 Chlorophyta	15	17	13	16
硅藻门 Bacillariophyta	14	15	18	14
蓝藻门 Cyanophyta	2	2	3	2
隐藻门 Cryptophyta	1	1	1	1
裸藻门 Euglenophyta	2	3	4	2
甲藻门 Pyrroptata	2	2	3	3
总计 Total	36	40	42	38

表 4 洞庭湖浮游植物种属数空间分布特征

Table 4 Spatial distribution characteristics of phytoplankton species in Dongting Lake

分区 Partitioning	枯水期 Dry season	涨水期 Flood period	丰水期 Wet season	退水期 Retrograde period
入湖口 Entrance to the lake	6	6	6	7
西洞庭湖 West Dongting Lake	14	12	12	13
南洞庭湖 South Dongting Lake	11	8	9	8
东洞庭湖 East Dongting Lake	34	31	36	36
出湖口 Out of the lake	9	8	10	9

优势种全湖以硅藻门和绿藻门为主,在不同水文期优势种存在明显差异(表 5)。枯水期的藻类优势种为硅藻门、隐藻门,优势度( $Y$ )指数按照降序排列依次为舟形藻和隐藻;涨水期其优势种为绿藻门、硅藻门, $Y$ 值按照降序排列依次为小球藻、直链藻、舟形藻和针杆藻;丰水期其优势种为硅藻门、蓝藻门、绿藻门, $Y$ 值按照降序排列依次为舟形藻、席藻、小球藻、针杆藻和栅藻;退水期其优势种为硅藻门、绿藻门、隐藻门, $Y$ 值按照降序排列依次为舟形藻、小球藻和隐藻。

表 6 洞庭湖浮游植物细胞密度时空分布

Table 6 Temporal and spatial distribution of phytoplankton cell density in Dongting Lake

分区 Partitioning	枯水期 Dry season	涨水期 Flood period	丰水期 Wet season	退水期 Retrograde period	各节点年均值 Annual mean value of each node
入湖口 Entrance to the lake	34.8	42.3	47.7	37.8	10.2
西洞庭湖 West Dongting Lake	28.2	22.5	23.7	21.6	12.0
南洞庭湖 South Dongting Lake	17.7	20.4	25.2	18.9	10.3
东洞庭湖 East Dongting Lake	245.1	301.2	357.9	172.2	53.8
出湖口 Out of the lake	11.7	11.1	12.6	10.8	11.6
各节点年均值 Annual mean value of each node	25.1	29.7	35.0	19.3	—

从表 7 可以看出,无论是就洞庭湖藻类严重的东洞庭湖,还是全湖而言,藻类密度主要贡献者都是大小西湖,其藻类密度均值为  $220.9 \times 10^4$  cells/L。在东洞庭湖水域,涨水期和丰水期大小西湖藻类贡献率较大,分别达 86.25% 和 83.99%;在枯水期和退水期贡献率偏低,但也分别达 79.19% 和 74.91%。对于全湖而言,大小西湖在涨水期和丰水期的贡献量依然较大,分别达 67.24% 和 66.14%;而在枯水期和退

综合洞庭湖浮游植物种属数来看,与优势度分布情况存在相似的特征。

表 5 洞庭湖浮游植物优势种分布特征

Table 5 Distribution characteristics of dominant phytoplankton species in Dongting Lake

浮游植物 Phytoplankton	种名 Specific name	优势度 Dominant( $Y$ )			
		枯水期 Dry season	涨水期 Flood period	丰水期 Wet season	退水期 Retrograde period
绿藻门 Chlorophyta	小球藻		0.029	0.030	0.027
	栅藻			0.020	
硅藻门 Bacillariophyta	舟形藻	0.031	0.022	0.035	0.033
	直链藻		0.025		
	针杆藻		0.020	0.027	
蓝藻门 Cyanophyta	席藻			0.033	
隐藻门 Cryptophyta	隐藻	0.023			0.023

2.2 浮游植物细胞密度时空分布 全湖浮游植物细胞密度在  $7.2 \times 10^4 \sim 300.6 \times 10^4$  cells/L,均值为  $27.2 \times 10^4$  cells/L,从时间分布(表 6)看,浮游植物细胞密度均值从大到小依次为丰水期 ( $35.0 \times 10^4$  cells/L)、涨水期 ( $29.7 \times 10^4$  cells/L)、枯水期 ( $25.1 \times 10^4$  cells/L)、退水期 ( $19.3 \times 10^4$  cells/L),涨水期、丰水期与枯水期、退水期的藻类分布存在明显差异;从空间分布看,东洞庭湖藻类密度均值达  $53.8 \times 10^4$  cells/L,为全湖最大值水域。除了东洞庭湖外,其他水域的藻类细胞密度均在  $11.0 \times 10^4$  cells/L 左右浮动,最低值在入湖口,均值为  $10.2 \times 10^4$  cells/L,而出湖口浮游植物密度均值略大于入湖口,可能受到东洞庭湖藻类群落漂移的影响,西洞庭湖藻类细胞密度均值大于南洞庭湖,可能是西洞庭湖有半阻隔连通的特征,在这个区域水动力较低且稳定,易于浮游植物的积累,而南洞庭湖属于自由连通区,其水动力较快,不利于藻类的生长和聚集,与种属数的分布有相似特征,因此湖区浮游植物细胞密度总体呈现出东洞庭湖大于其他湖区,与其他湖区存在明显差异(表 6)。

水期的贡献率较低,分别达 59.58% 和 51.50%。原因可能在于大小西湖连通度较差,水体交换不畅,水深较浅,加之适宜的温度、光照和水体扰动(风浪)等因素作用,导致该区域的藻类大量生长。

2.3 浮游植物的多样性指数特征 从洞庭湖浮游藻类多样性指数年均值(表 8)可以看出,东洞庭湖和大小西湖的 Shannon-Wiener 指数( $H'$ )、Margalef 指数( $D$ )和 Pielou 均匀

度指数( $J$ )均低于其他水域,各水域 $H'$ 指数均属于中度污染; $D$ 指数入湖口、西洞庭湖、南洞庭湖、出湖口属于中度污染,东洞庭湖、大小西湖属于重度污染; $J$ 指数入湖口、西洞庭湖、南洞庭湖属于清洁,东洞庭湖和出湖口属于中度污染,大小西湖属于重度污染。因此总体来看,东洞庭湖主要属于中

度污染,而大小西湖可能存在重度污染情况。除了东洞庭湖以外,入湖口、西洞庭湖、南洞庭湖、出湖口的 $H'$ 指数、 $D$ 指数和 $J$ 指数分别在2.43、3.32和0.55左右波动,根据多样性指数评价标准,洞庭湖水质大多数时期属于中度污染。

表7 大小西湖浮游植物细胞密度特征

Table 7 Characteristics of phytoplankton cell density in Daxiaixihu Lake

分区 Partitioning	枯水期 Dry season	涨水期 Flood period	丰水期 Wet season	退水期 Retrograde period
大小西湖 Big and small West Lake	194.1	259.8	300.6	129.0
东洞庭湖 East Dongting Lake	245.1	301.2	357.9	172.2
全湖 Whole lake	325.8	386.4	454.5	250.5
大小西湖/东洞庭湖 Big and small West Lake/East Dongting Lake//%	79.19	86.25	83.99	74.91
大小西湖/全湖 Big and small West Lake/Whole lake//%	59.58	67.24	66.14	51.50

表8 洞庭湖藻类多样性指数年平均均值

Table 8 Annual average of algal diversity index in Dongting Lake

分区 Partitioning	$H'$	$D$	$J$
入湖口 Entrance to the lake	2.18	3.57	0.54
西洞庭湖 West Dongting Lake	2.54	3.22	0.59
南洞庭湖 South Dongting Lake	2.86	3.46	0.61
东洞庭湖 East Dongting Lake	1.90	2.75	0.43
出湖口 Out of the lake	2.13	3.01	0.45
大小西湖 Big and small West Lake	1.52	2.58	0.27

### 3 讨论

从洞庭湖藻类群落结构来看,湖区藻类以硅藻门和绿藻门为主,枯水期的藻类优势种为硅藻门、隐藻门,涨水期其优势种为绿藻门、硅藻门,丰水期其优势种为硅藻门、蓝藻门、绿藻门,退水期其优势种为硅藻门、绿藻门、隐藻门,全湖的优势种均以硅藻门、绿藻门为主,这与前人的研究结果基本一致<sup>[13]</sup>。

从藻类细胞密度来看,洞庭湖涨水期和丰水期种属数明显高于枯水期和退水期,其中大小西湖的藻类贡献量占据首要地位。一方面,涨水期和丰水期的温度较高,光照充足,以及上游来水不断输送营养盐等物质,为藻类的生长提供了充足的条件。另一方面,由于西洞庭湖半阻隔区和大小西湖阻隔区的水域特征<sup>[14]</sup>,流速放缓,水动力偏低,导致藻类密度在这些区域迅速积累,尤其在大小西湖有暴发水华的风险,与前人的研究结果相似<sup>[12]</sup>。而在其他水域中,洞庭湖涨水期和丰水期流速较快,水动力频繁,影响了藻类的聚集,甚至抑制了藻类的生长,其藻类密度在这些水域偏低。

从多样性指数来看,洞庭湖水质属于中度污染状态,而在大小西湖可能存在重度污染,另外在丰水期存在以蓝藻门为主的优势种,其毒素严重危害水环境物质能量输移,甚至人类健康<sup>[15]</sup>。因此,从洞庭湖水华治理和防控角度来讲,大小西湖的藻类是最主要的研究对象。

### 4 结论

2018年对洞庭湖流域进行了浮游植物调查,共检出6门51属,其中绿藻门19属,占37.26%;硅藻门最多,为21属,占41.18%;裸藻门4属,占7.84%;蓝藻门和甲藻门各3属,各占5.88%;隐藻门最少,仅有1属,占1.96%。优势种全湖以硅藻门和绿藻门为主,主要优势种为直链藻、针杆藻、舟形藻、

栅藻、小球藻、席藻和隐藻。全湖浮游植物细胞密度在 $7.2 \times 10^4 \sim 300.6 \times 10^4$  cells/L,均值为 $27.2 \times 10^4$  cells/L。从时间分布看,浮游植物细胞密度均值从大到小依次为丰水期>涨水期>枯水期>退水期,涨水期、丰水期与枯水期、退水期的藻类分布存在明显差异;从空间分布看,东洞庭湖的大小西湖断面藻类密度最大,均值达到了 $220.9 \times 10^4$  cells/L,最低值在入湖口,均值为 $10.2 \times 10^4$  cells/L,东洞庭湖与其他湖区存在明显差异,大小西湖与东洞庭湖内其他断面也存在明显差异。就洞庭湖种属数和藻类细胞密度而言,涨水期和丰水期明显高于枯水期和退水期,其中大小西湖的藻类细胞密度贡献量占据首要地位。整体上,洞庭湖水质状况属于中度污染,大小西湖水质可能存在重度污染的情况。

### 参考文献

- [1] 胡春宏,王延贵.三峡工程运行后泥沙问题与江湖关系变化[J].长江科学院院报,2014,31(5):107-116.
- [2] BONNET M P, BARROUX G, MARTINEZ J M, et al. Floodplain hydrology in an Amazon floodplain lake (Lago Grande de Curuai) [J]. Journal of hydrology, 2008, 349(1/2): 18-30.
- [3] ROUSSEAU C S, GREGG W W. Interannual variation in phytoplankton primary production at a global scale [J]. Remote sensing, 2013, 6(1): 1-19.
- [4] 黄兵,姜恒,廖小红,等.水文变异条件下的洞庭湖生态水位研究[J].中国农村水利水电,2019(3): 88-91, 96.
- [5] 吴可方,欧伏平,王丑明.东洞庭湖秋季氮磷营养盐结构及水华风险分析[J].人民长江,2018,49(23): 21-26, 73.
- [6] 张光贵.洞庭湖水体叶绿素a时空分布及与环境因子的相关性[J].中国环境监测,2016,32(4): 84-90.
- [7] 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: 23-915.
- [8] 章宗涉,黄祥飞.淡水浮游生物研究方法[M].北京:科学出版社,1991: 52-53.
- [9] 汪星,郑丙辉,刘录三,等.洞庭湖典型断面藻类组成及其与环境因子典范对应分析[J].农业环境科学学报,2012,31(5): 995-1002.
- [10] MARGALEF R. Information theory in ecology [J]. General systematics, 1958, 3: 36-71.
- [11] SHANNON C E. A mathematical theory of communication [J]. Bell system technical journal, 1948, 27(3): 379-423.
- [12] 燕文明,钱宝,杨婷婷,等.平水期东洞庭湖主要入湖口藻类群落结构特征对环境因子的响应[J].水文,2020,40(1): 86-90.
- [13] 帅红,李辉艳,李赛,等.三峡工程对洞庭湖水环境的影响[J].长江流域资源与环境,2018,27(6): 1315-1323.
- [14] 郭凯迪,张晓波,刘培中,等.西洞庭湖沉水植物分布格局对环境因子及水文情势差异的响应[J].湖泊科学,2020,32(6): 1736-1748.
- [15] 钱奎梅,刘霞,段明,等.鄱阳湖蓝藻分布及其影响因素分析[J].中国环境科学,2016,36(1): 261-267.