

# 白马湖浮游植物分布特征及其 与环境因子相关性分析

吴苏舒<sup>1</sup>, 华学坤<sup>2</sup>, 范博文<sup>1,3</sup>, 陈文猛<sup>1</sup>, 王永年<sup>2</sup>

(1. 江苏省水利科学研究院, 江苏 南京 210017; 2. 江苏省灌溉总渠管理处, 江苏 淮安 223200;  
3. 河海大学 水文水资源学院, 江苏 南京 210098)

**摘要:**为掌握白马湖生态状况识别主要生态问题,2014 年、2016 年和 2017 年在白马湖湖区布设 11 个点位,监测分析该湖浮游植物群落结构的时空变化和水质情况。结果表明,2014 年共鉴定浮游植物 119 种,2016 年共鉴定 109 种,2017 年共鉴定 114 种,隶属于 8 门,主要优势种为小球藻(*Chlorella* sp.)、小环藻(*Cyclotella* sp.)、颗粒直链藻(*Melosira granulata* var. *angustissima*)、尖针杆藻(*Synedra acus*)、卵形金杯藻(*Kephyrion ovale*)、尖尾蓝隐藻(*Chroomonas acuta*)、链状伪鱼藻(*Pseudanabaena catenata*)和席藻(*Phormidium* sp.)。浮游植物丰度在夏季最高,冬季最低,在空间分布上西北部和中部较高,东北部和南部较低。并从 Shannon - Wiener 多样性指数、Pielou 均匀度指数和 SI 污染指数 3 个指标评价不同年份湖泊的健康状况,白马湖为中-富营养(中度)水体。并对浮游植物优势种和环境因子之间进行 Pearson 相关性分析,结果表明,温度是影响浮游植物丰度的主要因子。

**关键词:**白马湖;浮游植物;群落结构;时空分布;水质;Pearson 相关性分析

中图分类号:Q948.8 文献标识码:B 文章编号:1007-7839(2019)12-0001-07

## Study on the distribution features of phytoplankton and its correlation with environmental factors of Baima Lake

WU Sushu<sup>1</sup>, HUA Xuekun<sup>2</sup>, FAN Bowen<sup>1,3</sup>, CHEN Wenmeng<sup>1</sup>, WANG Yongnian<sup>2</sup>

(1. *Jiangsu Institute of Water Resources and Hydropower Research, Nanjing 210017, Jiangsu*;  
2. *Main Irrigation Channel Management Division of Jiangsu Province, Huai'an 223200, Jiangsu*;  
3. *College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, Jiangsu*)

**Abstract:** In order to grasp the ecological status of Baima Lake to identify major ecological problems, 11 points were set up in Baima Lake area in 2014, 2016 and 2017 to monitor and analyze the spatial and temporal changes and water quality of phytoplankton community structure. The results showed that 119 species of phytoplankton were identified in 2014, 109 species in 2016 and 114 species in 2017, belonging to 8 phyla. The main dominant species were *Chlorella* sp., *Cyclotella* sp., *Melosira granulata* var. *angustissima*, *Synedra acus*, *Kephyrion ovale*, *Chroomonas acuta*, *Pseudanabaena catenata* and *Phormidium* sp. The abundance of phytoplankton was highest in summer and lowest in winter, with higher spatial distribution in the northwest and central regions, and lower in the northeast and south. The health status of lakes in different years was evaluated by Shannon - Wiener diversity in-

收稿日期:2019-08-29

基金项目:江苏省科技厅创新能力建设计划—省属公益类科研院所自主科研经费项目(BM2018028);水利部技术示范项目(SF-201816);江苏省水利科技项目(2017049)。

作者简介:吴苏舒(1979—),女,博士,高级工程师,研究方向为水文水资源及水生态环境。

dex, Pielou evenness index and SI pollution index, and Baima Lake was a medium – eutrophic (moderate) water body. Pearson correlation analysis between phytoplankton dominant species and environmental factors showed that temperature was the main factor affecting the abundance of phytoplankton.

**Key words:** Baima Lake; phytoplankton; community structure; temporal and spatial distribution; water quality; Pearson correlation analysis

## 0 引言

浮游植物是指在水中以浮游形式生存的微小植物,由于个体小、生活周期短、繁殖速度快,所以易受环境中各种因素的影响而在较短周期内发生改变<sup>[1]</sup>。在水体中,浮游植物的变化可反映出所处环境的改变,而且相对于理化条件而言,能更好地反映出水体的营养水平<sup>[2-3]</sup>。

目前,浮游植物群落结构、多样性、生态分布及其与环境影响因子的关系是国内外研究的热点<sup>[4-7]</sup>,但是,白马湖浮游植物与环境因子的关系研究甚少。

白马湖地处淮河流域下游,在保证当地居民生活用水、社会经济发展和生态环境平衡等方面起着不可替代的作用。近年来,白马湖周边存在非法侵占水域、非法圈围、污水随意排放等现象,造成白马湖生态环境退化,严重削弱了湖泊综合功能的发挥<sup>[8]</sup>。以2014年、2016年和2017年浮游植物生态调查数据为依据,分析白马湖水域浮游植物群落结构及其变化,并由此反映出白马湖水环境质量现状,为湖泊治理提供科学支撑。

## 1 研究区域

### 1.1 研究区域概况

白马湖古称马漈湖,位于淮安市境东南边缘,分属淮安市金湖、洪泽、楚州和扬州市宝应等县(区),东经 119°02′ ~ 119°12′,北纬 33°09′ ~ 33°19′,湖泊面积约为 108 km<sup>2</sup>。处于北亚热带湿润季风气候区,四季分明,雨量充沛,多年平均降水量 956 mm,多年平均水面蒸发量 810 mm。主要出入湖河道有草泽河、浔河、花河、永济河、温山河、新河、运西河、阮桥河、白马湖引河等。白马湖具有提供水资源、防洪滞涝、维护生物多样性、净化水质、调节气候、渔业养殖等多种功能,长期以来,为促进地区经济的发展发挥了重要作用<sup>[10]</sup>。

### 1.2 采样点设置

根据白马湖湖区面积、地形轮廓、养殖分布以及主要出入湖河流等情况,本研究在白马湖共设置

11 个采样点,时间为 2014 年、2016 年和 2017 年,采样频率为 1 月 1 次,见图 1。

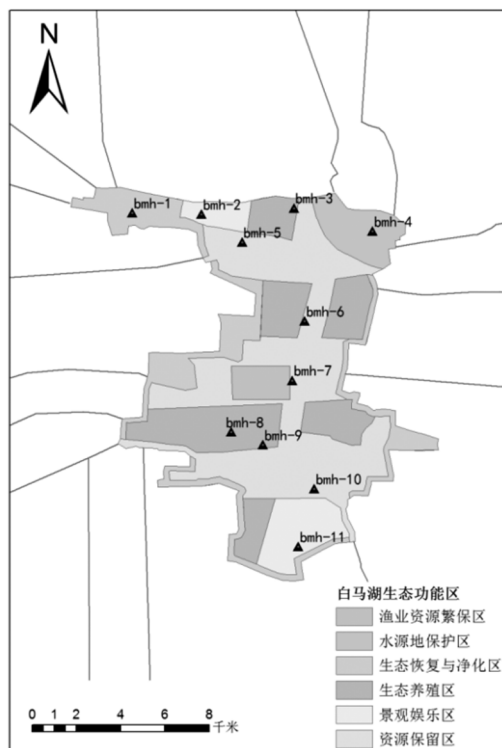


图 1 白马湖浮游植物监测点布设图

## 2 研究方法

### 2.1 监测指标

除了浮游植物以外,水样中其他分析指标包括水温、透明度、电导率、pH、溶解氧(DO)、总磷(TP)、总氮(TN)、氨氮(NH<sub>3</sub>-N)、高锰酸盐指数(COD<sub>Mn</sub>)共 9 个指标。

### 2.2 监测方法

本次各生态指标的监测,依照江苏省地方标准《湖泊水生态监测规范》(DB32/T3202-2017)。各指标测定方法见表 1。

### 2.3 浮游植物评价方法

浮游植物可以作为生物指标来指示水质,因为浮游植物的种群结构变化是水环境演变的直接后果之一。由于能迅速响应水体环境变化,且不同浮游植物对有机质和其他污染物敏感性不同,因而可以用藻类群落组成来判断不同水域水质状况和水

表 1 各水体理化性质测定指标和测定方法

指标	执行标准	
水温	水质 水温的测定 温度计或颠倒温度计测定法	GB/T 13195
透明度	透明度的测定(透明度计法、圆盘法)	SL 87
pH 值	水质 pH 值的测定 玻璃电极法	GB/T 6920
电导率	电导率的测定(电导仪法)	SL 78
溶解氧	水质 溶解氧的测定	HJ 506
高锰酸盐指数	水质 高锰酸盐指数的测定	GB/T 11892
总磷	水质 总磷的测定 钼酸氨分光光度法	GB/T 11893
总氮	水质 总氮的测定 碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法	HJ 636
氨氮	水质 氨氮的测定 纳氏试剂分光光度法	HJ 535

体健康程度。一般来说,浮游植物的多样性越高,其群落结构越复杂,稳定性越大,水质越好;而当水体受到污染时,敏感型种类消失,多样性降低,群落结构趋于简单,稳定性变差,水质下降。本文采用 Shannon – Wiener 多样性指数、Pielou 均匀度指数和 SI 污染指数对白马湖水质进行评价<sup>[10]</sup>。

多样性指数:

$$H' = - \sum_{i=1}^S \frac{n_i}{N} \log_2 \frac{n_i}{N}$$

(1)

均匀度指数:

$$J = \frac{H'}{H_{\max}}$$

(2)

污染指数:

$$SI = \frac{\sum s \times h}{\sum h}$$

(3)

优势度值:

$$Y = \frac{n_i}{N} \times f_i$$

(4)

式中, $n_i$  为第  $i$  种浮游植物的个体数, $N$  为总个体数, $S$  为样品中总种类数。 $H_{\max}$  为  $\log_2 S$ ,表示多样性指数的最大值。 $s$  为藻类污染指示等级, $h$  为该种藻类的估算数量等级。 $f_i$  为第  $i$  种在各站位出现的频率, $Y$  值大于 0.02 的种类为优势种。

3 结果与分析

3.1 种类组成及优势种

各年份鉴定的浮游植物主要以绿藻门、硅藻门、蓝藻门和裸藻门的浮游植物为主。优势物种如

表 2 所示,2014 年的优势种为小球藻 (*Chlorella* sp.)、小环藻 (*Cyclotella* sp.)、颗粒直链藻 (*Melosira granulata* var. *angustissima*)、尖针杆藻 (*Synedra acus*)、卵形金杯藻 (*Kephyrion ovale*)、尖尾蓝隐藻 (*Chroomonas acuta*)、链状伪鱼藻 (*Pseudanabaena catenata*)和席藻 (*Phormidium* sp.)。2016 年的优势种与 2017 年类似,相较于 2014 年多了四尾栅藻 (*Scenedesmus quadricauda*)、嗜蚀隐藻 (*Crypomonas erosa*)、柔细束丝藻 (*Aphanizomenon gracile*)3 种。

3.2 浮游植物的时空分布

3.2.1 时间变化

图 2 反映了 2014 年、2016 年和 2017 年白马湖浮游植物丰度的月变化,年内的变化趋势基本类似。2014 年和 2016 年 1 月份的浮游植物平均丰度为当年最低值,2017 年的最低值出现在 2 月。全湖的浮游植物平均丰度每年都会在 6 ~ 8 月出现较大幅度的增长,并且都在 8 月达到峰值,随后在 9 月开始不断下降,并在 12 月降至比较低的水平。其中,2014 年 8 月的浮游植物丰度达到了 3 年的最大值,为  $47.3 \times 10^6$  cells/L,1 月出现了 3 年最小值,为  $1.70 \times 10^6$  cells/L。每一年的最低值都在  $1.5 \times 10^6 \sim 3.5 \times 10^6$  cells/L 范围内,但峰值相较于前 1 年都有大幅度的降低。

图 3 反映了 2014 年、2016 年和 2017 年白马湖浮游植物丰度的季节变化,白马湖各年份浮游植物丰度以夏季最高,其次是秋季,在冬季时浮游植物的丰度处于最低值。这是因为绿藻、硅藻和蓝藻占据了白马湖浮游植物种类的绝对优势,绿藻生长的

表 2 白马湖各年份浮游植物的优势物种

浮游植物物种	拉丁名	2014		2016		2017	
		频度 f	优势度 Y	频度 f	优势度 Y	频度 f	优势度 Y
小球藻	Chlorella sp.	1	0.1265	1	0.1152	1	0.0989
四尾栅藻	Scenedemus quadricauda	—	—	1	0.0204	1	0.0288
小环藻	Cyclotella sp.	1	0.1716	1	0.1293	1	0.1341
颗粒直链藻极狭变种	Melosira granulata var. angustissima	1	0.0332	1	0.045	1	0.0498
尖针杆藻	Synedra acus	1	0.0406	1	0.0548	1	0.0542
卵形金杯藻	Kephyrion ovale	0.91	0.0225	0.91	0.0221	1	0.0364
尖尾蓝隐藻	Chroomonas acuta	1	0.0394	1	0.0392	1	0.0391
嗜蚀隐藻	Crypomonas erosa	—	—	0.91	0.0232	1	0.0256
柔细束丝藻	Aphanizomenon gracile	—	—	0.73	0.0229	0.73	0.0209
链状伪鱼腥藻	Pseudanabaena catenata	0.91	0.0236	0.91	0.0295	0.91	0.0213
席藻	Phormidium sp.	1	0.1863	1	0.1458	1	0.1483

最适温度为 30 ~ 35℃, 硅藻的最适温度为 20℃, 蓝藻的最适温度为 40℃, 且在当地温度范围内, 温度越高, 绿藻和蓝藻就繁殖得越快, 所以浮游植物丰度可以在夏季达到最高值。

春、冬季节丰度年际变化差异不大, 2016 年夏季的浮游植物丰度显著低于 2014 年, 2017 年夏季的丰度又显著低于 2016 年。这种变化是由于白马湖自 2016 年实施退渔还湖后, 湖水流动加快且入湖饵料减少, 湖水营养化问题得到缓解, 使得白马湖夏季的浮游植物丰度显著降低。

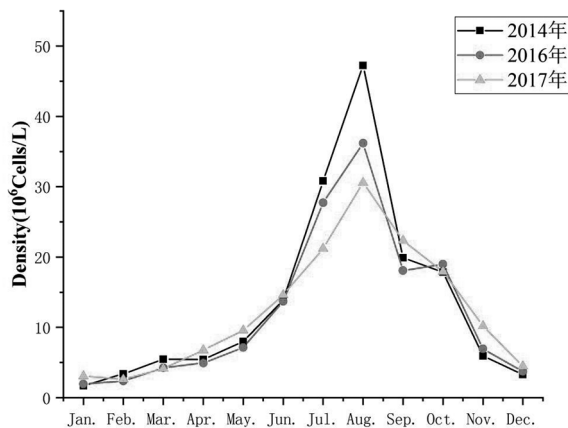


图 2 白马湖浮游植物丰度月变化

### 3.2.2 空间变化

图 4 和图 5 分别表示了白马湖 3 年的浮游植物

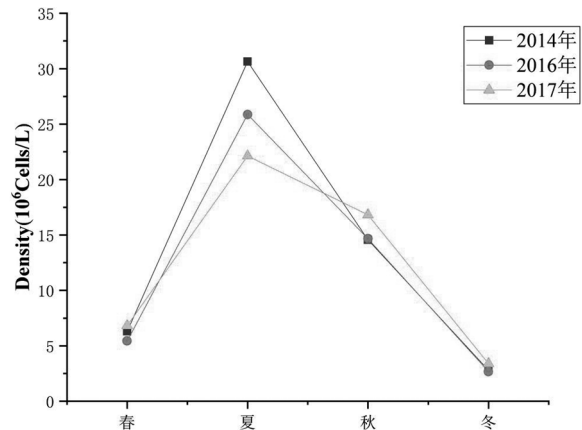


图 3 白马湖浮游植物丰度季节变化

丰度和 SI 污染指数的空间差异, 图 6 和图 7 分别表示了 Shannon - Wiener 多样性指数和 Pielou 均匀度指数的空间差异。

2014 年, 位于白马湖西北部生态恢复与净化区的 bmh - 1 和景观娱乐区的 bmh - 2 浮游植物丰度最高, 分别达到了  $27.2 \times 10^6$  cells/L 和  $24.4 \times 10^6$  cells/L, 均匀度也最低, 分别为 0.60 和 0.61, 污染指数也相对较高, 分别为 2.76 和 2.78。位于东北部水源地保护区的 bmh - 4 丰度最小, 为  $3.5 \times 10^6$  cells/L, 均匀度是最大的, 达到了 0.80。位于渔业资源繁殖保护区的 bmh - 7 浮游植物丰度为  $19.40 \times 10^6$  cells/L, 全年的 Shannon - Wiener 多

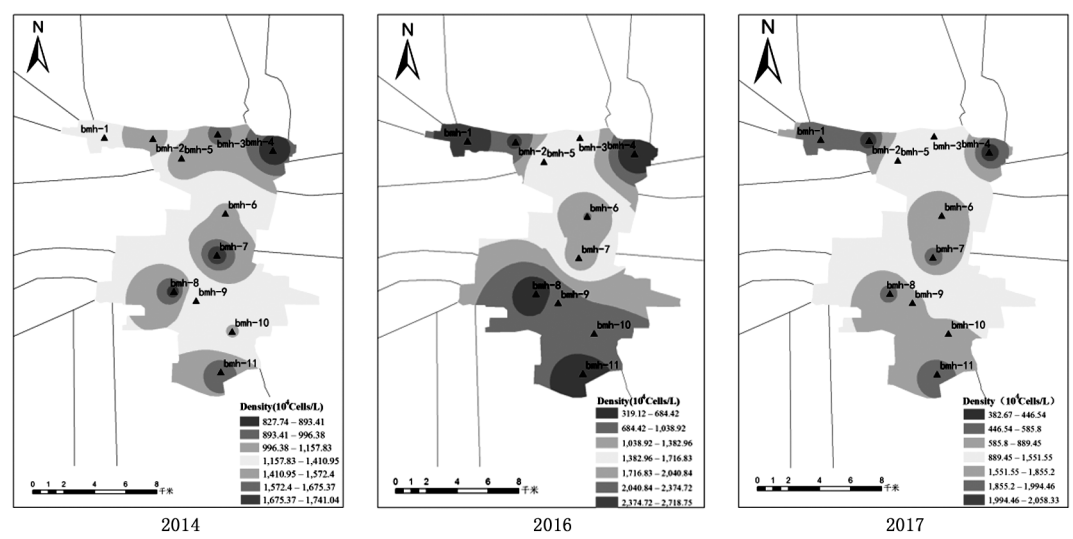


图 4 浮游植物丰度空间分布差异

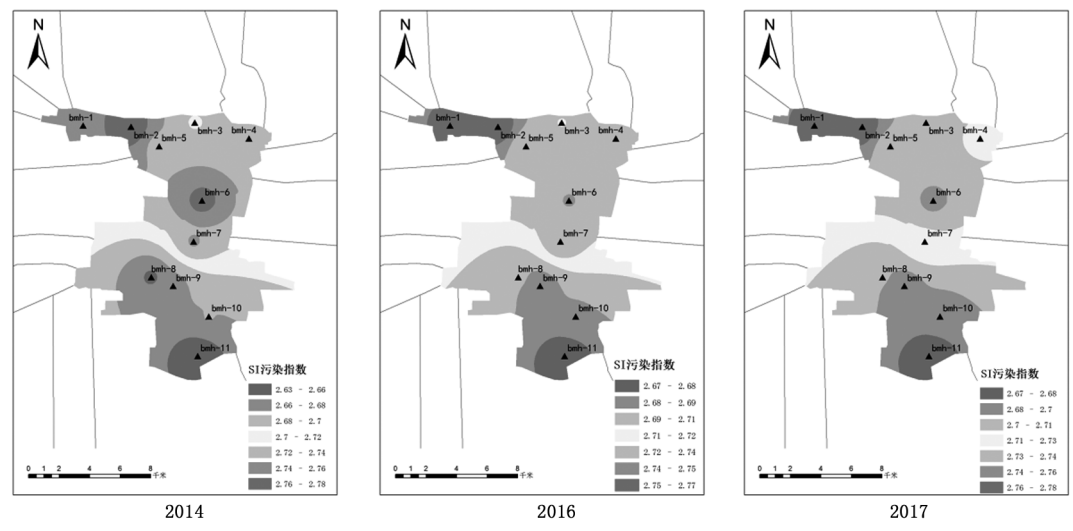


图 5 SI 污染指数分布差异

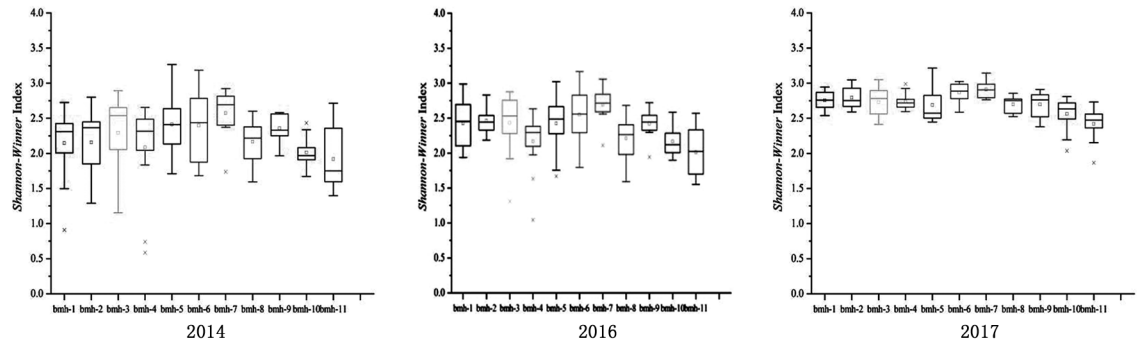


图 6 多样性指数空间分布差异

样性指数为所有采样点最高,达到了 2.58。位于南部的生态养殖区、景观娱乐区和资源保留区的所有点位 (bmh - 8 ~ bmh - 11), 丰度均小于  $9 \times 10^6$  cells/L。最南部景观娱乐区的 bmh - 11 的多样性指数最小,为 1.92,SI 指数为 2.63,相对其他点位较低。

2016 年,bmh - 1 和 bmh - 2 浮游植物丰度最高,达到了  $19.57 \times 10^6$  cells/L 和  $20.58 \times 10^6$  cells/L, SI 指数也是所有点位最高,为 2.76 和 2.77。bmh - 4 的丰度最小,为  $3.83 \times 10^6$  cells/L,均匀度也最大,为 0.80。和 2014 年一样,2016 年的浮游植物丰度也呈现西北部和中部水域较高,东北部和南部

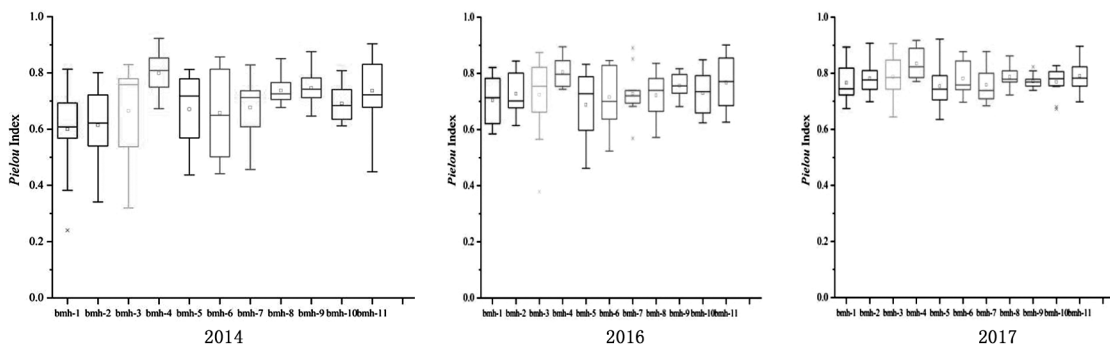


图 7 均匀度指数空间分布差异

较低的特点,南部水域的点位浮游植物丰度全部低于  $9 \times 10^6$  cells/L, bmh-7 的多样性指数依旧为所有点位最高,达到了 2.69。bmh-11 的多样性指数和 SI 污染指数都为最低,为 2.01 和 2.67。

2017 年, bmh-2 的浮游植物丰度依旧相对较高,为  $15.81 \times 10^6$  cells/L, 且 SI 为所有点位最大,达到了 2.78。bmh-4 的丰度最低,为  $8.28 \times 10^6$  cells/L, 且均匀度为所有点位最大,达到了 0.83。位于中部水域的 bmh-7, 丰度和多样性指数都为最大,分别为  $17.41 \times 10^6$  cells/L 和 2.91, 均匀度是最小的,为 0.76。最南边的 bmh-11 丰度依旧较小,为  $9.09 \times 10^6$  cells/L, 且多样性指数和 SI 指数是所有监测点位最小,为 2.42 和 2.67。

综合 2014 年、2016 年和 2017 年浮游植物丰度、多样性指数、均匀度和 SI 污染指数的空间分布情况,可以总结出以下几点:①白马湖西北部水域,尤其是景观娱乐区的浮游植物年均丰度是功能区中最大的,SI 指数也达到了所有测量点位的峰值;②白马湖东北部水域的年均丰度总是相对最小,但均匀度总是所有点位最大的;③中部渔业资源繁保护区水域的年均丰度大小仅次于西北部,Shannon-Wiener 多样性指数 3 年都为所有点位最大;④白马湖南部水域的浮游植物年均丰度相对较小,且南部景观娱乐区的多样性指数和 SI 污染指数都是所有功能区最小的,说明白马湖南部的水质情况较好。

### 3.3 评价指数

利用浮游植物多样性指数、均匀度指数和 SI 污染指数对白马湖水体进行水质评价<sup>[11-12]</sup>。见表 3 所示,与 2014 年和 2016 年度相比,白马湖 2017 年度的浮游植物的多样性指数和均匀度指数均略有升高,这说明浮游植物群落结构的稳定性不断增强。2017 年度污染指数较 2016 年度略有下降,说明退圩还湖后,白马湖的水体虽然仍为中-富营养(中度)水体,但水质有一定程度的改善。

### 3.4 相关性分析

采用 SPSS 软件对 2017 年(12 个月)白马湖 11 个点位的浮游植物的优势种类丰度和水体理化指标数据进行 Pearson 相关性分析,理化指标为温度、透明度、电导率、TN、TP 等共 9 个变量,结果如表 4。

2017 年的优势种藻类共有 11 个,每一个都和水体温度呈显著正相关关系,其中,小环藻跟温度的相关性系数最大,为 0.775,小球藻、四尾栅藻和席藻跟温度的相关性系数都超过了 0.6。这也很好地解释了浮游植物丰度随季节的变化情况,温度越高,越有利于白马湖浮游植物的生长,所以夏季的浮游植物丰度最大,冬季的最小。有 7 种浮游植物和 DO 呈极显著负相关关系,6 种浮游植物跟电导率呈极显著正相关关系,5 种浮游植物和  $\text{NH}_3-\text{N}$  呈极显著的负相关关系。卵形金杯藻都跟除了电导率的其他 10 个环境因子都有极显著的相关关系。

Pearson 相关性分析结果表明,温度是影响浮游植物生长的主要因子。其次是 DO、电导率和 pH, 且这 3 个值如果偏低,会适宜白马湖浮游植物的生长,水质营养盐(TP、TN、 $\text{NH}_3-\text{N}$ )和高锰酸盐指数也是影响浮游植物时空变化格局的重要因子,要控制氮、磷元素的流入和 pH 的范围,这样有利于白马湖水质的改善。

## 4 结论与建议

### 4.1 结论

对 2014 年、2016 年和 2017 年白马湖浮游植物分布进行了探讨,并和环境因子进行了相关性分析,主要结论如下:

白马湖浮游植物种类组成以绿藻门、硅藻门、蓝藻门和裸藻门为主,常年优势种为小球藻、小环藻、颗粒直链藻、尖针杆藻、卵形金杯藻、尖尾蓝隐藻、铜绿微囊藻、链状伪鱼藻和席藻。

白马湖浮游植物丰度在时间分布上以夏季最

表 3 不同年份白马湖水质评价对比

	Shannon – Wiener 多样性指数	Pielou 均匀度指数	SI 污染指数
2014 年	2.23(轻度污染)	0.69(轻度污染)	2.83(重度污染)
2016 年	2.36(轻度污染)	0.73(轻度污染)	2.84(重度污染)
2017 年	2.71(轻度污染)	0.78(轻度污染)	2.72(重度污染)

表 4 浮游植物优势种和环境因子的相关性分析

	温度	透明度	电导率	pH	DO	TP	TN	NH <sub>3</sub> – N	COD <sub>Mn</sub>
小球藻	0.656 **	-0.008	0.469 **	-0.206 *	-0.378 **	-0.098	-0.11	-0.347 **	-0.025
四尾栅藻	0.606 **	-0.227 **	0.364 **	-0.101	-0.242 **	-0.094	-0.095	-0.331 **	-0.222 *
小环藻	0.775 **	0.06	0.561 **	0.018	-0.258 **	-0.189 *	-0.113	-0.402 **	0.035
颗粒直链藻极狭变种	0.543 **	-0.155	0.383 **	0.044	-0.049	-0.091	0.054	-0.196 *	0.037
尖针杆藻	0.438 **	0.409 **	0.202 *	-0.403 **	-0.517 **	-0.184 *	-0.352 **	-0.307 **	-0.284 **
卵形金杯藻	0.324 **	0.502 **	0.000	-0.342 **	-0.414 **	-0.369 **	-0.343 **	-0.190 *	-0.329 **
尖尾蓝隐藻	0.493 **	0.133	0.223 *	-0.227 **	-0.355 **	-0.233 **	-0.151	-0.220 *	-0.176 *
嗜蚀隐藻	0.459 **	0.026	0.219 *	-0.215 *	-0.306 *	-0.153	-0.113	-0.200 *	-0.205 *
柔细束丝藻	0.303 **	-0.223 *	0.238 **	0.228 **	0.127	-0.084	-0.109	-0.167	0.006
链状伪鱼腥藻	0.227 **	-0.092	0.083	-0.189 *	-0.328 **	-0.032	-0.085	-0.188 *	-0.175 *
席藻	0.632 **	-0.204 *	0.44 **	0.121	-0.017	-0.103	0.01	-0.296 **	0.007

注: \* 显著水平 0.05(双尾检验); \*\* 极显著水平 0.01(双尾检验)

高,冬季最低,春、冬季节丰度年际变化差异不大,2016 年和 2017 年夏季的浮游植物丰度显著低于 2013 ~ 2014 年,这说明湖水营养化治理取得了初步成效。

白马湖的水体为中 – 富营养(中度)水体,浮游植物年均丰度在空间分布上呈现“西北部和中部较大,东北部和南部较小”的特点,中部渔业资源繁殖保护区的 Shannon – Wiener 多样性指数最大,东北部 Pielou 均匀度指数最小。西北部的景观娱乐区 SI 指数较大,而最南部的景观娱乐区 SI 指数较小,总体水质有一定改善,但是西北部水体污染还是较为严重。

温度是影响白马湖浮游植物丰度的主要因子,DO、电导率、pH、水质营养盐和 COD<sub>Mn</sub>也都是影响浮游植物时空变化格局的重要因子。

4.2 建议

bmh – 1、bmh – 2 监测点位于往良河、花河、永

济河、干南河的交汇水域,上游来水中携带的大量营养物质在此处汇集,导致浮游植物的丰度较高。建议加强对往良河、花河、永济河、干南河等入湖河流污染物控制,减少向入湖河道随意排放养殖用水,削减入湖污染负荷量。

bmh – 7 监测点位于中部狭长通道附近,浮游植物丰度较高。白马湖为两头大中间小的“哑铃形”,南北水体交换主要依托于中间的狭长水道,水道两侧分布大量的围网及养殖圈圩,严重压缩了换水断面,营养物质无法顺利扩散,在附近逐渐富集,加剧了水体的富营养化程度。因此建议加快推进白马湖宝应县附近的退渔还湖,严控加剧断面收缩相关的资源开发利用活动,拓宽湖面,加快水体交换率,降低湖区中部的营养盐含量。

可以在夏季长江水位较高时引水入湖,缩短湖水的交换周期,降低湖水中营养物质的浓度。并且

(下转第 10 页)

(上接第7页)

有计划地进行岸边植被的修复,建立绿色屏障,削减面源营养物质,建立生态缓冲带,有效控制白马湖氮、磷元素的输入。

### 参考文献:

- [1] 刘宇,沈建忠.藻类生物学评价在水质监测中的应用[J].水利渔业,2008(4):5-7.
- [2] 赵怡冰,许武德,郭宇欣.生物的指示作用与水环境[J].水资源保护,2002(2):11-16.
- [3] Salmaso N, Morabito G, Buzzi F, et al. Phytoplankton as indicator of the water quality of the deep lakes south of the Alps[J]. Hydrobiologia,2006,563:167-187.
- [4] Cemen P, Teixeira I G, Branco M, et al. Sampling the limits of species richness in marine phytoplankton communities[J]. Plankton Research,2014,36:1135-1139.
- [5] 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(5):1310-1317.
- [6] 赵秀侠,方婷,杨坤,等.安徽沱湖夏季浮游植物群落结构特征与环境因子关系[J].植物科学学报,2018,36(5):687-695.
- [7] 沈蓉蓉.长江下游干流浮游植物分布格局及其与环境因子的相关性[D].上海:上海师范大学,2019.
- [8] 杨万红,周霞,车金铃.淮安市白马湖退圩(围)还湖对水质影响浅析[J].江苏水利,2014(8):34-36.
- [9] 贾硕岭.白马湖水生态保护的实践与思考[J].江苏水利,2013(3):28-30.
- [10] 马建新,郑振虎,李云平,等.莱州湾浮游植物分布特征[J].海洋湖沼通报,2002(4):63-67.
- [11] 李仁全,王明书,孙敏,等.赤城湖指示藻类的组成及物种多样性指数分析[J].安徽农业科学,2009,37(2):773-776.
- [12] 张景平,黄小平,江志坚,等.珠江口海域污染的水质综合污染指数和生物多样性指数评价[J].热带海洋学报,2010,29(1):69-76.