

文章编号: 1000-5862(2018)05-0500-07

# 南昌市青山湖浮游植物群落结构的分析

张毅鸽, 谢金林, 李守淳\*

(江西师范大学生命科学学院 江西 南昌 330022)

**摘要:** 2015 年 7 月、10 月和 2016 年 1 月、4 月通过对青山湖浮游藻类群落结构及水体污染状况进行调查, 鉴定出浮游植物有 7 门 73 属 112 种, 其中绿藻门最多, 共计 33 属 56 种, 占总种数的 50%。浮游植物细胞密度为  $3.40 \times 10^8 \sim 7.26 \times 10^8 \text{ cells} \cdot \text{L}^{-1}$ , 以蓝藻为主; 浮游植物平均生物量为  $8.105 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , 以硅藻和绿藻为主; 细胞密度优势种为假鱼腥藻、细小平裂藻、美丽星杆藻、二尾栅藻、极小单针藻, 生物量优势种包括颗粒直链藻极狭变种、新星形冠盘藻、栅藻、卵囊藻。利用 Shannon-Wiener 多样性指数、Pielou 均匀度指数、Margalef 指数及丰富度指数(S) 与水体的理化性质相结合对水质作出了评价, 结果显示青山湖水处于中度污染状态。

**关键词:** 青山湖; 浮游植物; 多样性指数

**中图分类号:** Q 949.2 **文献标志码:** A **DOI:** 10.16357/j.cnki.issn1000-5862.2018.05.12

## 0 引言

浮游植物作为湖泊的初级生产者<sup>[1]</sup>, 其种类组成、分布及优势种的演替与水环境因子有着密切的联系<sup>[2]</sup>, 浮游植物群落的剧烈变化会对水体产生较大的影响<sup>[3]</sup>, 因此对水环境具有指示作用, 浮游植物的污染指示功能<sup>[4-6]</sup>和功能类群<sup>[7]</sup>在一定程度上可作为水质监测指标。

青山湖位于江西省南昌市城东, 赣江下游, 属赣抚河流冲积平原地貌, 其海拔高度为 18~30 m, 属亚热带季风湿润气候, 常年平均气温为 17.6℃, 年平均降水量为 1 522 mm, 总面积为 4.00 km<sup>2</sup>, 水域面积为 3.16 km<sup>2</sup>, 湖面南宽北窄, 近似“弓”型。青山湖经济相对发达, 周边人口密集, 其水环境易受人为活动的影响。自 2008 年青山湖首次暴发蓝藻水华以来, 连续 6 年均有蓝藻水华暴发, 尤其在 2014 年, 蓝藻水华多次暴发且相当严重, 水体呈现绿色且有臭腥味, 严重破坏周围居民的生活环境及青山湖的景观功能。为此, 青山湖采取一系列的措施如清淤护坡、截污引水等营养源治理, 投放鲢、鳙、微生物菌和小球藻等生物方法来改变水环境。

自 2010 年起, 财政部、环保部提出优先保护水质良好、生态脆弱的湖泊, 贯彻落实“让江河湖泊休

养生息”的战略部署<sup>[8]</sup>, 这一决策对保护湖泊具有重大意义。国内外对江河湖泊的研究众多, 但对于城市湖泊的研究及治理政策却相对较少, 尤其对南昌市青山湖浮游藻类的研究更少, 目前只有卢辛宇等<sup>[9]</sup>和夏润林等<sup>[10]</sup>对其进行过研究。本文主要研究青山湖治理后的浮游植物群落结构和季节变化的生态学特征, 同时与前人研究的青山湖浮游植物种类、细胞密度、生物量和污染情况进行对比, 确定青山湖治理方法的可行性与科学性, 为青山湖的治理提供数据基础和科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 采样点和采样时间

采样时间为 2015 年 7 月、10 月和 2016 年 1 月、4 月, 根据青山湖的整体水质, 全湖共设置采样点 5 个, 样点分布如图 1 所示。

### 1.2 采样及处理

藻类样品采集: 定性采样采用 25 号浮游生物网, 使其呈现“∞”型在水面上来回摆动, 滤去多余的水体, 装入贴有标签的 50 mL 采集瓶中, 用 10% 的甲醛溶液<sup>[11]</sup>现场固定。定量采样用有机玻璃采样

收稿日期: 2018-01-08

基金项目: 国家自然科学基金(41561005)资助项目。

通信作者: 李守淳(1965-), 女, 江西余干人, 教授, 博士, 主要从事有害藻类生物学研究。E-mail: lisc@jxnu.edu.cn

器取 1 L 表层水样,加入 15 mL 鲁哥氏液现场固定后带回实验室避光、静置沉淀 48 h,用虹吸法抽取上清液,将底层藻类置于 50 mL 采集瓶,密封保存。

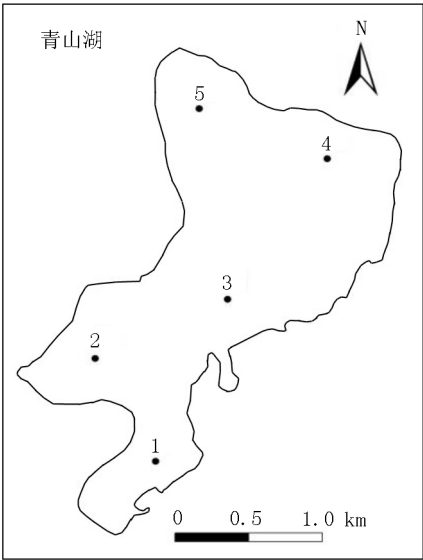


图 1 南昌市青山湖采样点

藻类鉴定计数:充分摇匀浮游藻类定性样品,取 0.1 mL 的样品于浮游生物计数框内,盖上盖玻片,在 10×40 倍的光学显微镜下选取 100 个视野计数,进行计数,每个样品取样和计数分别 2 次,取其平均值.浮游藻类属种鉴定参考淡水浮游生物图谱<sup>[12]</sup>及中国淡水藻类<sup>[13]</sup>.

1.3 评价方法

选用丰富度指数(  $S$  )、pielou 均匀度指数(  $J_{sw}$  )、Shannon-Wiener 指数(  $H'$  )和 Margalef 指数来测度浮游植物群落多样性,计算公式为

Shannon-Wiener 指数<sup>[14-15]</sup>:  $H' = - \sum P_i \ln P_i$  ,  
 $P_i = n_i / N$  ,

Pielou 均匀度指数<sup>[16-17]</sup>:  $J_{sw} = H' / H_{\max}$  ,  $H_{\max} = \ln S$  ,

Margalef 指数<sup>[18]</sup>:  $R = (S - 1) / \ln N$  ,  
其中  $S$  为物种数,  $N$  为浮游植物总细胞数,  $n_i$  为第  $i$  个种的细胞数.

2 结果与分析

2.1 青山湖浮游藻类种类构成

青山湖各采样点共鉴定出浮游植物 7 门 73 属 112 种(见表 1),其中绿藻门最多,共 33 属 56 种,占总种类数的 50%;硅藻门次之,共 16 属 24 种,占总种类数的 21.4%;蓝藻门共 13 属 20 种,占总种类数的 17.9%;裸藻门共 5 属 5 种,占总种类数的 4.5%;甲藻门共 3 属 3 种,占总种类数的 2.7%;隐藻门共 2 属 3 种,占总种类数的 2.7%;金藻门最少,共 1 属 1 种,占总种类数的 0.8%.

表 1 南昌市青山湖浮游植物种类构成

门	目	科	属	种	各门所占比例/%
蓝藻门 Cyanophyta	色球藻目 Chroococcales	3	4	7	17.86
	颤藻目 Oscillatoriales	3	5	5	
	念珠藻目 Nostocales	1	4	8	
硅藻门 Bacillariophyta	圆筛藻目 Coscinodiscales	1	2	5	21.43
	无壳缝目 Araphidiales	1	4	7	
	双壳缝目 Biraphidinales	3	8	9	
	管壳缝目 Aulonoraphidinales	2	2	3	
绿藻门 Chlorophyta	团藻目 Volvocales	3	8	8	50.00
	绿球藻目 Chlorococcales	8	20	39	
	鼓藻目 Desmidiaceae	1	4	7	
	双星藻目 Zygnemataceae	1	1	2	
裸藻门 Euglenophyta	裸藻目 Euglenales	1	5	5	4.46
金藻门 Chrysophyta	色金藻目 Chrysophyceae	1	1	1	0.89
甲藻门 Dinophyta	多甲藻目 Peridinales	3	3	3	2.68
隐藻门 Cryptophyta	隐鞭藻目 Cryptomonadales	1	2	3	2.68

2.2 青山湖浮游藻类细胞密度

浮游植物细胞密度(见图 2)介于  $3.40 \times 10^8 \sim 7.26 \times 10^8 \text{ cell} \cdot \text{L}^{-1}$ ,平均细胞密度为  $4.81 \times 10^8 \text{ cell} \cdot \text{L}^{-1}$ ,其中 2015 年 10 月的总细胞密度最高,为  $7.26 \times$

$10^8 \text{ cell} \cdot \text{L}^{-1}$ ,2016 年 4 月最低,为  $3.4 \times 10^8 \text{ cell} \cdot \text{L}^{-1}$ .从门类看,2015 年 7 月蓝藻门细胞密度最高,为  $2.67 \times 10^8 \text{ cell} \cdot \text{L}^{-1}$ ,占 7 月总细胞密度的 65%,其次为绿藻门、硅藻门,分别占 7 月总细胞密度的 28%、7%;2015 年 10 月细胞密度最高的是蓝藻门,

为  $5.14 \times 10^8 \text{ cell} \cdot \text{L}^{-1}$ , 占 10 月总细胞密度的 71%, 其次为绿藻门、硅藻门, 分别占 10 月总细胞密度的 21%、8%。在 2016 年 1 月和 4 月中蓝藻门的细胞密度也是最高, 分别为  $1.92 \times 10^8 \text{ cell} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $1.76 \times 10^8 \text{ cell} \cdot \text{L}^{-1}$ , 在 1 月、4 月 中的占比分别为 43%、52%, 其次为绿藻门, 在 1 月、4 月分别占总细胞密度的 42%、36%, 再次为硅藻门, 在 1 月、4 月分别占总细胞密度的 14%、10%。蓝藻门为全季优势种类。

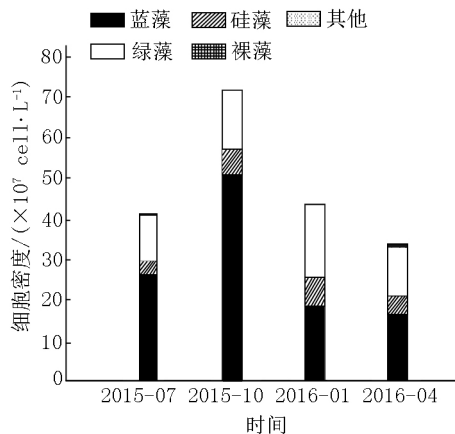


图2 南昌市青山湖浮游植各门细胞密度的季节变化

### 2.3 青山湖浮游藻类生物量

青山湖浮游植物生物量为  $7.530 \sim 8.890 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  (见图4), 平均生物量为  $8.105 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , 其中 2016 年 1 月生物量最大, 2016 年 4 月最小。从门类看 2015 年 7 月硅藻门的生物量最大, 为  $3.60 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , 占 7 月总生物量的 47.06%, 其次是绿藻门、蓝藻门, 分别占 7 月总生物量的 27.19%、22.75%; 2015 年 10 月也是硅藻门的生物量最大, 为  $3.260 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , 占 10 月总生物量的 39.04%, 其次是绿藻门 (34.73%)、蓝藻门 (18.56%)。2016 年 1 月生物量最大的是绿藻门, 为  $3.450 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , 占 1 月总生物

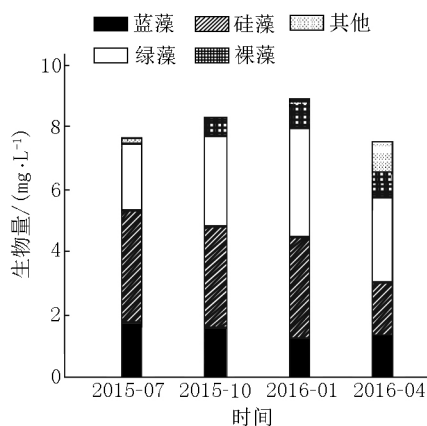


图4 南昌市青山湖浮游植物各门生物量的季节变化

量的 38.31%, 其次是硅藻门 (36.78%)、蓝藻门 (14.17%); 2016 年 4 月生物量最大的也是绿藻门,

从空间分布上来看 (见图3) 2015 年 10 月  $S_3$  点浮游植物细胞密度明显高于其他采样点, 平均细胞密度为  $5.38 \times 10^8 \text{ cell} \cdot \text{L}^{-1}$ , 依次为  $S_5$  采样点 ( $5.19 \times 10^8 \text{ cell} \cdot \text{L}^{-1}$ )、 $S_4$  采样点 ( $4.92 \times 10^8 \text{ cell} \cdot \text{L}^{-1}$ )、 $S_1$  采样点 ( $4.43 \times 10^8 \text{ cell} \cdot \text{L}^{-1}$ )、 $S_2$  采样点 ( $4.13 \times 10^8 \text{ cell} \cdot \text{L}^{-1}$ )。总体来说, 青山湖北侧的细胞密度大于南侧。

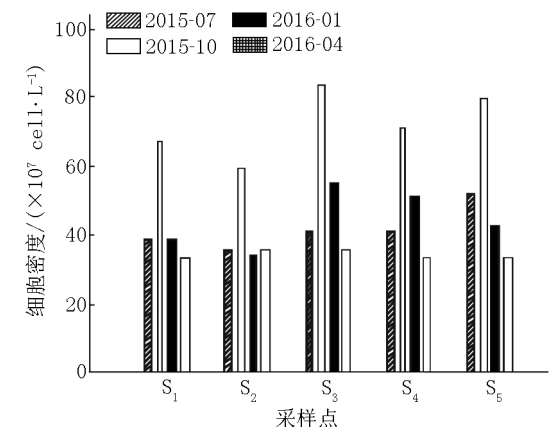
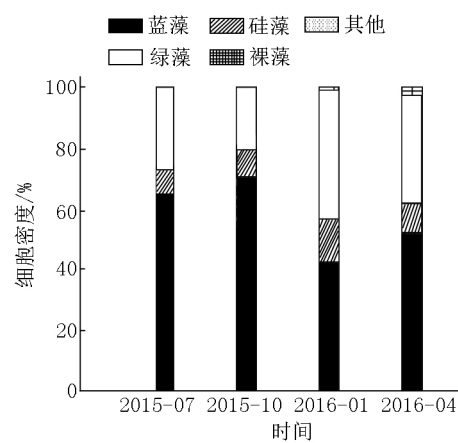
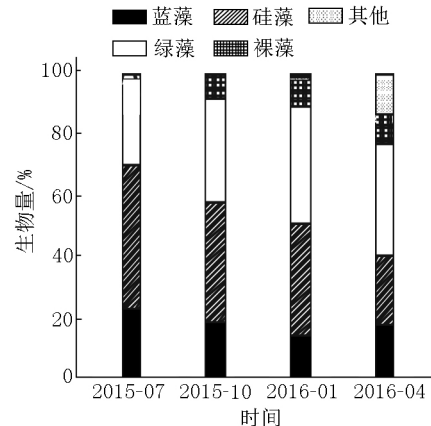


图3 南昌市青山湖浮游植物不同采样点的细胞密度



为  $2.770 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , 占 4 月总生物量的 36.84%, 其次是硅藻门 (22.74%)、蓝藻门 (17.29%)。从生物

量变化规律来看,硅藻和绿藻的生物量交替占优势,夏秋季硅藻为第一优势门,而冬春季绿藻是第一优势门.从空间分布上来看(见图 5),青山湖  $S_3$  采样点的平均生物量最大,为  $9.610\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,依次为  $S_4$  采样点( $9.140\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )、 $S_5$  采样点( $8.680\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )、 $S_2$  采样点( $6.600\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )、 $S_1$  采样点( $6.450\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ).总体上,各采样点浮游植物细胞密度和生物量变化基本一致,都是  $S_3$  采样点最大, $S_1$  采样点最小.

2.4 浮游藻类优势种

从浮游藻类细胞密度优势种(见表 2)来看,假鱼腥藻、细小平裂藻、美丽星杆藻、二尾栅藻、极小单针藻各季都有分布且为主要优势种,极小单针藻为前 3 优势种,微囊藻非全年优势种,但在多个季节中占优势,真紧密长孢藻仅在 2015 年 7 月占优势.从浮游藻类生物量优势种(见表 3)来看,青山湖全年优势种包括颗粒直链藻极狭变种、新星形冠盘藻、栅

藻、卵囊藻,其中栅藻几乎在各个季节中为前 3 优势种,微囊藻、长孢藻为非全年优势种,但在多个季节中占优势,仅在 2015 年 7 月占优势的物种是真紧密长孢藻,仅在 2015 年 10 月占优势的物种有细小平裂藻、针杆藻,仅在 2016 年 1 月占优势的物种有纤维藻.

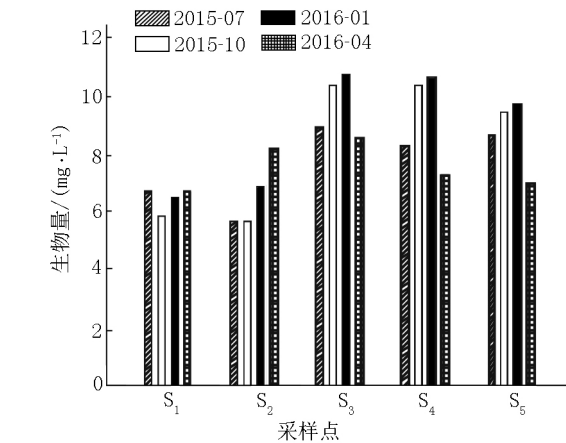


图 5 南昌市青山湖浮游植物不同采样点的生物量

表 2 南昌市青山湖浮游植物细胞密度优势种变化

浮游植物	2015 年 7 月	2015 年 10 月	2016 年 1 月	2016 年 4 月
假鱼腥藻 <i>Pseudoanabaena</i> sp.	+	+	+	++
海蓝旋藻 <i>Glaucospira</i> sp.		+	++	
微囊藻 <i>Microcystis</i>	+	+	+	
细鞘丝藻 <i>Leptolyngbya</i> sp.		++		+
细小平裂藻 <i>Merimopedia minima</i>	++	++	+	++
鱼腥藻 <i>Anabaena</i> sp.				+
真紧密长孢藻 <i>Dolichospermum eucompacta</i>	+			
美丽星杆藻 <i>Asteriomella formosa</i>	+	+	+	+
新星形冠盘藻 <i>Stephanodiscus neoastraea</i>		+	+	
二尾栅藻 <i>Scenedesmus bicauda</i>	+	+	+	+
极小单针藻 <i>Monoraphidium</i> sp.	++	++	++	++

++ 表示当月细胞数前 3 的种, + 表示当月细胞数前 5 的种.

表 3 南昌市青山湖浮游植物生物量优势种变化

浮游植物	2015 年 7 月	2015 年 10 月	2016 年 1 月	2016 年 4 月
微囊藻 <i>Microcystis</i>	+	+	+	
细小平裂藻 <i>Merimopedia minima</i>		+		
纤维藻 <i>Ankistrodesmus</i>			+	
长孢藻 <i>Dolichospermum</i>		+	+	++
真紧密长孢藻 <i>Dolichospermum eucompacta</i>	+			
依沙矛丝藻 <i>Cuspidothrix issatschenkoi</i>	+	+		
颗粒直链藻 <i>Melosira granulata</i>	++		+	
颗粒直链藻极狭螺旋变种 <i>Melosira granulata</i> var. <i>angustissima</i>	+	+	+	+
新星形冠盘藻 <i>Stephanodiscus neoastraea</i>	+	++	++	+
针杆藻 <i>Synedra</i> sp.		+		
小球藻 <i>Chlorella vulgaris</i>				
栅藻 <i>Scenedesum</i> sp.	++	++	++	+
角星鼓藻 <i>Staurastrum</i> sp.				+

表 3( 续)

浮游植物	2015 年 7 月	2015 年 10 月	2016 年 1 月	2016 年 4 月
卵囊藻 <i>Oocystis</i> sp.	+	+	+	+
扁裸藻 <i>Phacus</i> sp.			+	+
囊裸藻 <i>Trachelomonas</i> sp.		+	+	
梭形裸藻 <i>Euglena acus</i>		+	+	
多甲藻 <i>Peridiniopsis</i> sp.	+			++

++ 表示当月细胞数前 3 的种 ,+ 表示当月细胞数前 5 的种.

### 2.5 南昌市青山湖浮游藻类多样性指数

南昌市青山湖 5 个采样点不同时间段 Shannon-Wiener 多样性指数范围为 1.89~2.61,极值分别出现在 2015 年 10 月的 S<sub>2</sub> 样点,2016 年 4 月的 S<sub>2</sub>、S<sub>3</sub> 样点,总均值为 2.27(见表 4);Margalef 指数范围为 1.71~1.95,极值分别出现在 2015 年 7 月的 S<sub>1</sub> 样点,2016 年 4 月的 S<sub>4</sub> 样点,总均值为 1.86;Pielou 均匀度指数范围为 0.55~0.72,极值分别出现在 2015 年 10 月的 S<sub>2</sub> 样点,2016 年 4 月的 S<sub>3</sub> 样点,总均值

为 0.62;丰富度指数范围为 35.0~40.8,极值分别出现在 2015 年 7 月的 S<sub>1</sub> 样点、2015 年 10 月的 S<sub>4</sub> 样点,总均值为 38. Margalef 指数与丰富度指数在时间变化上基本一致,均为 2015 年 10 月>2016 年 4 月>2016 年 1 月>2015 年 7 月. 综合各种指数总均值,其评价结果为中度污染,秋季水体污染程度更大;比较各采样点之间数据,可知 S<sub>1</sub>、S<sub>2</sub> 采样点各个指数多样性低于其他采样点,说明其附近水体污染程度大.

表 4 南昌市青山湖浮游植物多样性指数

采样时间	指数多样性	采样点					平均值
		S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	
2015-07	H	1.93	1.78	2.00	2.00	2.03	1.95
	R	1.56	1.82	1.61	1.71	1.84	1.71
	J	0.56	0.49	0.57	0.57	0.56	0.55
	S	32.00	37.00	33.00	35.00	38.00	35.00
2015-10	H	1.81	1.75	1.94	2.04	1.91	1.89
	R	1.87	1.83	2.00	2.11	1.95	1.95
	J	0.49	0.48	0.52	0.54	0.51	0.51
	S	39.00	38.00	42.00	44.00	41.00	40.80
2016-01	H	2.60	2.59	2.65	2.65	2.54	2.61
	R	1.87	1.88	1.84	1.84	1.61	1.81
	J	0.72	0.71	0.73	0.73	0.73	0.72
	S	38.00	38.00	38.00	38.00	33.00	37.00
2016-04	H	2.50	2.69	2.69	2.59	2.61	2.61
	R	1.84	1.93	1.83	2.14	1.99	1.95
	J	0.69	0.73	0.74	0.69	0.71	0.71
	S	37.00	39.00	37.00	43.00	40.00	39.20

H 表示 Shannon-Wiener 多样性指数 R 表示 Margalef 指数 J 表示 Pielou 均匀度指数 S 表示丰富度指数.

## 3 讨论与结论

### 3.1 讨论

相比于夏润林等<sup>[19]</sup>的研究,本次对青山湖浮游植物调查,得出浮游植物属种都有所增加,绿藻门的属种增幅较大. 2010 年 10 月~2011 年 6 月,夏润林等在青山湖共鉴定出浮游藻类 8 门 61 属 110 种,其中绿藻门有 20 属 39 种,占全部种数的 35.5%. 本次鉴定出浮游植物共有 7 门 73 属 112 种,绿藻门共

计 33 属 56 种,占总种数的 50%.

夏润林等<sup>[21]</sup>的调查得出青山湖浮游植物平均细胞密度为  $2.41 \times 10^4 \text{ cell} \cdot \text{L}^{-1}$ ,本次调查浮游植物平均细胞密度为  $4.81 \times 10^8 \text{ cell} \cdot \text{L}^{-1}$ ,浮游植物细胞密度变化明显,同时夏润林等的研究表明在 S<sub>1</sub> 采样点(居民区)浮游植物的细胞密度较大,为  $2.75 \times 10^4 \text{ cell} \cdot \text{L}^{-1}$ ,在 S<sub>5</sub> 采样点(赣江入水口)较小,为  $2.12 \times 10^4 \text{ cell} \cdot \text{L}^{-1}$ ,本研究结果为 S<sub>3</sub> 采样点的细胞密度( $5.38 \times 10^8 \text{ cell} \cdot \text{L}^{-1}$ )最大,为  $5.38 \times 10^8 \text{ cell} \cdot \text{L}^{-1}$ ,S<sub>1</sub> 采样点的细胞密度最低,为  $4.43 \times 10^8 \text{ cell} \cdot$

$L^{-1}$ ,且本研究得出细胞密度具有季节性变化,从春季到秋季逐渐上升,秋季趋于最大,于冬季下降,基于细胞密度的优势种有假鱼腥藻、细小平裂藻、美丽星杆藻、二尾栅藻、极小单针藻。准确地描述浮游植物的组成需细胞密度与生物量相互作用,青山湖浮游藻类生物量季节变化范围为  $7.530 \sim 8.890 \text{ mg} \cdot L^{-1}$ ,均值为  $8.105 \text{ mg} \cdot L^{-1}$ ,其季节性变化为从春季至冬季一直处于上升趋势,冬季处于峰值。从生物量的角度看,各个季节优势种为颗粒直链藻极狭变种、新星形冠盘藻、栅藻、卵囊藻,与细胞密度各个季节优势种截然不同。

在青山湖浮游植物生物多样性中,Margalef 指数和物种丰富度基本相似,且季节变化为秋季 > 冬季 > 春季 > 夏季, $S_1$  采样点物种丰富度最小。

综上所述,青山湖浮游藻类物种组成、水环境特征都有所改变,因此进一步研究青山湖浮游藻类群落结构变化具有重要的意义。

### 3.2 结论

1) 青山湖浮游植物共鉴定有 7 门 73 属 112 种,其中绿藻门种数最多,占总种类数的 50%,蓝藻门次之;

2) 青山湖浮游植物细胞密度介于  $3.4 \times 10^8 \sim 7.26 \times 10^8 \text{ cell} \cdot L^{-1}$  之间,细胞平均密度为  $4.81 \times 10^8 \text{ cell} \cdot L^{-1}$ ,以蓝藻门为主, $S_3$  采样点的细胞密度最大,为  $5.38 \times 10^8 \text{ cell} \cdot L^{-1}$ , $S_1$  采样点最小,为  $4.43 \times 10^8 \text{ cell} \cdot L^{-1}$ ,细胞密度全年优势种为假鱼腥藻、细小平裂藻、美丽星杆藻、二尾栅藻、极小单针藻;

3) 山湖浮游植物生物量为  $7.530 \sim 8.890 \text{ mg} \cdot L^{-1}$ ,生物量平均值为  $8.105 \text{ mg} \cdot L^{-1}$ ,以绿藻和硅藻为主, $S_3$  采样点的生物量最大,为  $9.610 \text{ mg} \cdot L^{-1}$ , $S_1$  采样点最小,为  $6.450 \text{ mg} \cdot L^{-1}$ ,生物量全年优势种为颗粒直链藻极狭变种、新星形冠盘藻、栅藻、卵囊藻;

4) 山湖物种丰富度为 38,Shannon-ener 多样性指数均值为 2.27,Margalef 指数范围为  $1.71 \sim 1.95$ ,Pielou 均匀度为  $0.55 \sim 0.72$ ,浮游植物多样性规律为秋季 > 冬季 > 春季 > 夏季,青山湖处于中度污染状态,且秋季污染程度严重。

## 4 参考文献

[1] 李守淳,柴文波,叶付粥. 南昌市艾溪湖浮游藻类的多样性调查与评价 [J]. 江西师范大学学报: 自然科学

版 2013,37(3):316-318.

- [2] 李秋华,何伟添. 澳门湿地浮游植物群落特征 [J]. 植物生态学报 2009,33(4):689-697.
- [3] 杨琳荔,迺华. 小溪港浮游植物群落结构特征及水质评价 [J]. 环境科学研究 2014,27(9):1016-1063.
- [4] Sládeček V. System of water quality from the biological point of view [M]. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung,1973.
- [5] Shitikov V K,Zinchenko T D,Golovatyuk L V. Assessing surface water quality based on indicator zoobenthos species [J]. Water Resources 2004,31(3):323-332.
- [6] Lobo E A,Bes D,Tudesque L,et al. Water quality assessment of the Pardino River,RS,Brazil,using epilithic diatom assemblages and faecal coliforms as biological indicators [J]. Vie et Milieu 2004,54(2/3):115-125.
- [7] 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.
- [8] Li Tao,Ma Zhong,Shi Lei,et al. Evaluation of the current status of the water environment of Tai ping Lake [J]. Environmental Protection Science 2014(6):14-18.
- [9] 卢辛宇,詹健,韩玉龙,等. 南昌青山湖水环境现状与修复建议 [J]. 中国水运: 下半月 2015(7):146-147.
- [10] 夏润林,杨竹青,王自蕊,等. 南昌青山湖浮游植物种群特征分析 [J]. 江西农业大学学报 2011,33(5):1023-1029.
- [11] 杨平,蔡文波,黄静,等. 鄱阳湖微囊藻属形态多样性研究 [J]. 江西师范大学学报: 自然科学版 2014,38(9):496-499.
- [12] 翁建中,徐恒省. 中国常见淡水浮游藻类图谱 [M]. 上海: 上海科学技术出版社 2010.
- [13] 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.
- [14] Shannon E,Weaver W. The mathematical theory of communication [M]. London: University Illinois Press,1949:296-297.
- [15] 刘文盈,张秋良,高润宏,等. 盐沼湿地浮游植物多样性与环境关系研究 [J]. 内蒙古林业科技 2012,38(1):5-7,22.
- [16] Pielou E C. Ecological diversity [M]. New York: Wiley,1975.
- [17] 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.
- [18] Margalef R. Information to theory in ecology [J]. Gensyst,1958,3:36-71.
- [19] 夏润林,杨竹青,王自蕊,等. 南昌青山湖浮游植物种群特征分析 [J]. 江西农业大学学报 2011,33(5):1023-1029.

## The Analysis on the Structure of Phytoplankton Community in Qingshan Lake of Nanchang City

ZHANG Yige, XIE Jinlin, LI Shouchun\*

( College of Life Science, Jiangxi Normal University, Nanchang Jiangxi 330022, China)

**Abstract:** Phytoplankton community structure and water pollution in Qingshan Lake of Nanchang City are investigated on July and October 2015, January and April 2016. The results show that a total of 112 species belonging to 73 genera, 7 phylum of phytoplankton are identified. Among which the most species are Chlorophyta (33 genera, 56 species), accounting for 50% of the total species. The cell densities of phytoplankton are in the range from  $3.4 \times 10^8$  cells  $\cdot$  L<sup>-1</sup> to  $7.26 \times 10^8$  cells  $\cdot$  L<sup>-1</sup>, and Cyanobacteria dominates in cell number. The average biomass is 8.105 mg  $\cdot$  L<sup>-1</sup>, with the dominance by Chlorophyta and Bacillariophyta. The dominant species of cell density are *Pseudoanabaena*, *Merimopedia minima*, *Asteriomella formosa*, *Scenedesmus bicauda* and *Monoraphidium*. The biomass dominant species include *Melosira granulata* var. *angustissima*, *Stephanodiscus neoastraea*, *Scenedesmus* and *Oocystis*. The Shannon-Wiener diversity index, Pielou evenness index, Margalef index and Richness index are combined with the chemical properties of water to evaluate the water quality. The results show that Qingshan Lake is in the condition of medium pollution.

**Key words:** Qingshan Lake; phytoplankton; diversity index

(责任编辑: 刘显亮)

(上接第 481 页)

- [11] Yu Cong, Mosbach K. Molecular imprinting utilizing an amide functional group for hydrogen bonding leading to highly efficient polymers [J]. J Org Chem, 1997, 62(12): 4057-4064.
- [12] Liu Bingjie, Wang Dongfeng, Yu Guangli, et al. Adsorption of heavy metal ions, dyes and proteins by chitosan composites and derivatives: a review [J]. Journal of Ocean Uni-

versity of China, 2013, 12(3): 500-508.

- [13] 孙亮亮. 壳聚糖聚乙二醇接枝聚合物的合成及表征 [D]. 杭州: 浙江大学, 2013: 31-32.
- [14] 陈彰旭, 李明春, 辛梅华, 等. N-组氨酸壳聚糖/左旋聚乳酸支架的制备及表征 [J]. 功能材料, 2015, 46(5): 118-122.

## The Preparation and Properties of L-Methionine-Chitosan Molecularly Imprinted Composite Membrane

SUI Yujia, TANG Jianping\*, LIU Yangjun, LAI Lijuan, YUAN Wensong, DENG Huihui, HU Zitao

( College of Chemical and Chemical Engineering, Jiangxi Normal University, Nanchang Jiangxi 330022, China)

**Abstract:** L-methionine-glutaraldehyde-polyethylene glycol (PEG)-chitosan molecularly imprinted membrane are prepared by ontology polymerization with chitosan (CTS) as the backing material, L-methionine as imprinting molecule, and polyethylene glycol (PEG) 2000, glutaraldehyde as crosslinking agent. The experimental results show that the swelling and water flux of chitosan composite membrane are good, the permeation capacity of L-methionine is reached by 0.130 mmol  $\cdot$  cm<sup>-2</sup>, and separation factor of L, D-methionine is 1.76. The molecularly imprinted composite membrane, which is characterized by FT-IR, SEM, XRD and TGA, has compact microstructure, low crystallinity and high thermal stability.

**Key words:** molecularly imprinted membrane; chitosan; L-methionine; chiral resolution

(责任编辑: 刘显亮)