

Community Structure of Phytoplankton and Water Quality Assessment in Tai Lake National Wetland Park in Autumn

Xu Sun, Yihan Chai, Di Liu, Yuxi Zhao, Hongxian Yu*

Northeast Forestry University, Harbin Heilongjiang

Email: *china.yhx@163.com

Received: Oct. 31st, 2019; accepted: Nov. 18th, 2019; published: Nov. 25th, 2019

Abstract

In order to study the community structure and water quality of phytoplankton in Tai Lake National Wetland Park in autumn, the species composition, abundance, biomass, diversity and environmental factors of phytoplankton in 12 sampling sites of Tai Lake National Wetland Park were collected in September 2018. The results showed that 62 species and varieties of phytoplankton belonging to 7 phyla genera were identified. The abundance fluctuated from 40.8×10^4 ind./L to 1320.0×10^4 ind./L, and the biomass fluctuated from 0.32 mg/L to 13.11 mg/L. A total of 8 dominant species of phytoplankton were found. Shannon-Weaver and Margalef diversity indices show that the water quality of Tai Lake National Wetland Park is medium pollution.

Keywords

Tai Lake National Wetland Park, Phytoplankton, Water Quality Assessment, Autumn

太湖国家湿地公园秋季浮游植物群落结构及水质评价

孙旭, 柴一涵, 柳迪, 赵予熙, 于洪贤*

东北林业大学, 黑龙江 哈尔滨

Email: *china.yhx@163.com

收稿日期: 2019年10月31日; 录用日期: 2019年11月18日; 发布日期: 2019年11月25日

*通讯作者。

文章引用: 孙旭, 柴一涵, 柳迪, 赵予熙, 于洪贤. 太湖国家湿地公园秋季浮游植物群落结构及水质评价[J]. 环境保护前沿, 2019, 9(6): 782-793. DOI: 10.12677/aep.2019.96103

摘要

为了研究泰湖国家湿地公园秋季浮游植物群落结构和水质,本研究于2018年9月采集了泰湖国家湿地公园内12个采样点的浮游植物的种类组成、丰度、生物量、多样性和环境因子。研究表明:共鉴定出浮游植物7门属62种及变种,丰度波动于 $40.8 \times 10^4 \text{ ind./L}$ ~ $1320.0 \times 10^4 \text{ ind./L}$,生物量波动于 0.32 mg/L ~ 13.11 mg/L ,共发现浮游植物优势种共8种。Shannon-Weaver和Margalef多样性指数表明泰湖国家湿地公园水质为中污染。

关键词

泰湖国家湿地公园,浮游植物,水质评价,秋季

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

浮游植物水生态系统中重要的初级生产者,具有生长周期短、扩散力强等特点,是生物地球化学作用中重要的一环,同时也可以反映出水质状况的好坏[1]。浮游植物与环境因子关系密切,其种类组成、多样性及群落结构会对环境变化做出相应改变,因此通过调查浮游植物可以间接了解水质的情况。近年来关于浮游植物群落结构生态学的相关研究较多。赵思琪等发现在修复富营养化湖泊时,应重视浮游植物多样性的重建才能达到理想的效果[2]。魏志兵等对长湖浮游植物群落结构调查中发现该湖泊处于物种组成单一、稳定性较差的富营养化状态[3]。张囡囡等建议根据湿地不同功能区采取不同措施保护浮游植物资源[4]。褚一凡等通过浮游植物多样性指数结果发现陈桥东湖水质呈中污状态,与理化评价结果一致,可以为湿地水环境保护提供参考[5]。

泰来县地势西高东低,泰湖国家湿地公园就位于城区东部,雨水、污水、工业废水都有向低处排放的特点,故泰湖国家湿地公园是泰来县生活污水和工业废水受纳水体[6]。20世纪90年代,泰湖国家湿地公园受造纸厂污水的影响,污染严重,取缔造纸厂以后,水质得到了一定程度的改善。近年来由于旅游业的发展,加上附近居民的活动的影 响,泰湖国家湿地公园受外界干扰较大且水体环境处于不稳定的状态。水体营养状况与浮游生物息息相关,浮游植物作为水体富营养化的重要指示种,可为水污染的监测和控制工作提供依据[7]。

2. 材料与方 法

2.1. 研究地

泰湖国家湿地公园位于黑龙江省泰来县城区,地理坐标为 $E123^{\circ}25'14.17''$ ~ $123^{\circ}29'00.97''$, $N46^{\circ}24'12.10''$ ~ $46^{\circ}21'15.10''$,总面积 1365 hm^2 [8]。本区气候类型属于温带大陆性季风气候区,年平均温度为 4.2°C 左右,年平均日照时数可达 2920 h 左右,气候较为干燥,历年平均降水量为 360 mm ,蒸发量为 1798.2 mm ,无霜期为 130 d 左右,年平均封冻期为 145 d 左右[9] (图 1)。

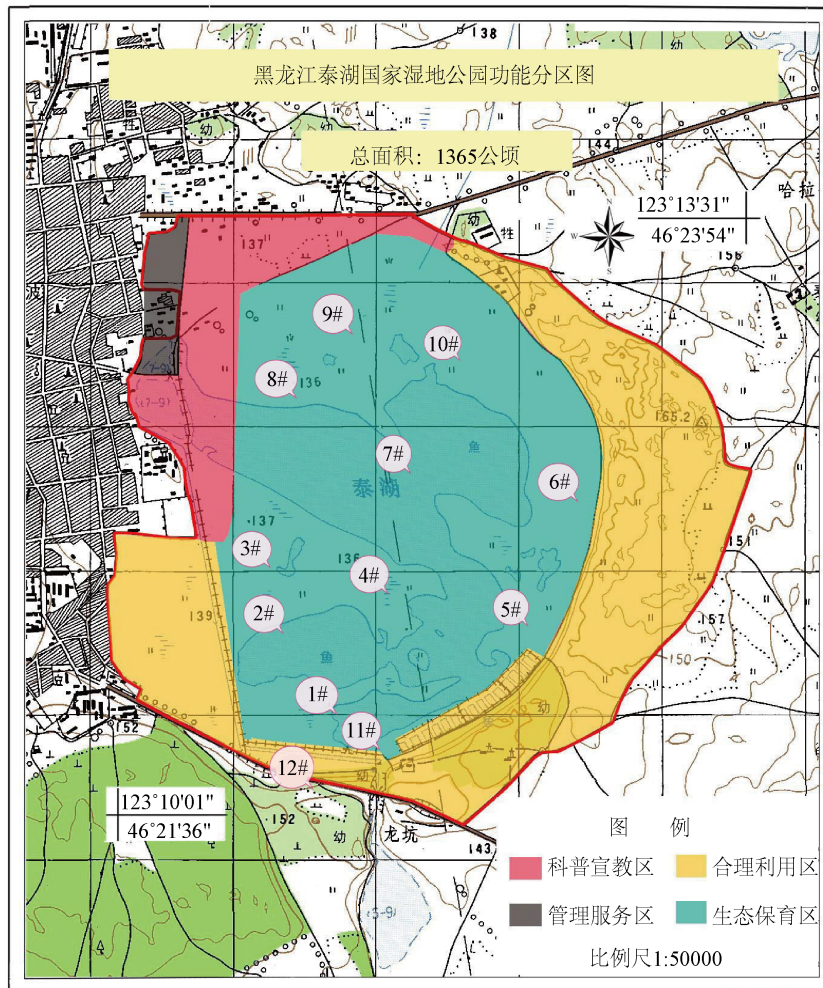


Figure 1. Map of sampling sites in Tai Lake National Wetland Park
图 1. 泰湖国家湿地公园采样点分布图

2.2. 浮游植物采样

调查方法依据《内陆水域渔业自然资源调查手册》[10]进行。浮游植物定性样品采用 25 号浮游生物网在水面下 50 cm 处进行横“∞”字形捞取；浮游植物定量样品采用 1 L 采水器采集上、中、下水层混合水样 1 L，样品用 1.5% 的碘液固定，带回室内，经沉淀、浓缩，在光学显微镜下进行鉴定。

2.3. 多样性分析

Shannon-Weaver 多样性指数[1]:

$$H' = -\sum_{i=1}^S P_i \log_2 P_i \quad (1)$$

Margalef 丰富度指数[11]:

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

其中， S 为总种数， N 为所有种个体总数， P_i 为第 i 种个体数量在总个体数量中的比例。多样性指数水质评价标准见表 1。

Table 1. Assessment standard of diversity indexes**表 1.** 多样性指数水质评价标准

指数	污染指标		
Shanno-Weaver 多样性指数(H')	0~1 重污染	1~3 中污染	>3 轻污染
Margalef 丰富度指数(d)	0~1 重污染	1~3 中污染	>3 轻污染

优势种是根据物种的出现频率及个体数量来确定, 用优势度来表示[8]:

$$y = f_i \times P_i \quad (3)$$

式中, y 为优势度, f_i 为第 i 种的出现频率, p_i 为第 i 种个体数量在总个体数量的比例, f_i 为该种在各取样时间出现的频率, 当 $y > 0.02$ 时, 定为优势种。

3. 结果与讨论

3.1. 浮游植物的种类组成

经过镜检, 共鉴定出浮游植物 7 门属 62 种及变种(附录), 其中绿藻门种数最多, 为 32 种, 占 51.61%; 硅藻门次之, 16 种, 占 25.81%; 裸藻门 6 种, 占 9.68%; 蓝藻门 2 种, 金藻门 2 种, 隐藻门 2 种, 甲藻门 2 种, 各占 3.23% (图 2)。

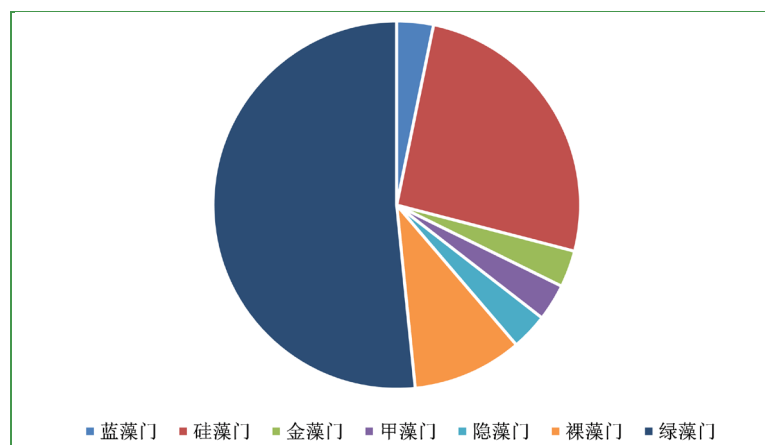


Figure 2. Species composition of phytoplankton in Tai Lake National Wetland Park in autumn

图 2. 太湖国家湿地公园秋季浮游植物的种类组成

3.2. 浮游植物的水平分布特征

太湖国家湿地公园各采样点的秋季浮游植物种数数据显示, 物种数量最多的是 7# 采样点, 为 38 种; 其次是 5# 采样点, 为 32 种; 物种数量最少的是 11# 采样点, 为 5 种(图 3)。

总体来说, 1#、11#、12# 采样点的物种数较少, 其余样点的物种数较多且相差不多。1# 在地理位置上与污水处理厂排水口最接近, 12# 采样点位于污水处理厂之中, 所采水样为处理废水, 因此受污染程度较重, 11# 采样点位于污水处理厂排水沟渠内, 为处理“中水”。这 3 个采样点浮游植物种类数较少。1# 采样点浮游植物以蓝、绿藻为主。11# 采样点该采样点浮游植物种类及数量最少, 仅有 5 种, 并且主要为绿藻门。12# 采样点主要为梅尼小环藻、河生集星藻、纤维藻, 均为富营养水体指示藻类。其他各采样点距离污水处理厂排水口较远, 受干扰程度较轻, 浮游植物种类数较多。2# 采样点浮游植物以绿藻门和硅

藻门为主，指示富营养水体的梅尼小环藻和栅藻在此采样点占据优势。3#采样点浮游植物以耐污性较强的蓝藻、裸藻和绿藻为主，指示富营养水体的颗粒直链藻、梅尼小环藻、球衣藻、栅藻数量很多。4#采样点浮游植物以耐污性强的硅藻门、绿藻门和裸藻门为主。富营养化指示种梅尼小环藻在数量上占据优势。5#采样点浮游植物以硅藻门和绿藻门为主，且多为富营养化的指示种，并且耐污性强的裸藻种类和数量较多。6#~10#采样点浮游植物均以裸藻门、硅藻门和绿藻门为主。

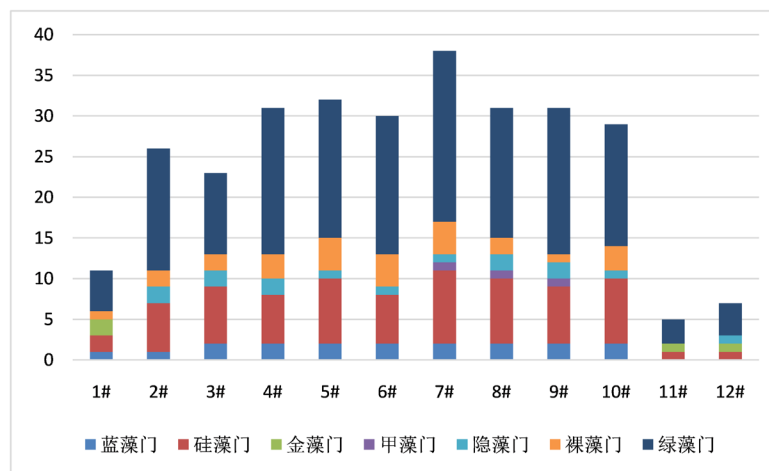


Figure 3. Variation of phytoplankton species in Tai Lake National Wetland Park in autumn

图 3. 太湖国家湿地公园秋季采样点浮游植物种类变化

3.3. 浮游植物的丰度与生物量水平分布

太湖国家湿地公园秋季浮游植物的丰度和生物量在各采样点间存在差异(表 2)。丰度波动于 40.8×10^4 ind./L~ 1320.0×10^4 ind./L 之间，最高为 3# 采样点，为 1320.0×10^4 ind./L，次高为 2# 采样点，为 1250.4×10^4 ind./L，最低为 11# 采样点，为 40.8×10^4 ind./L；生物量全年在 0.32 mg/L~13.11 mg/L 之间。最高为 3# 采样点，为 13.11 mg/L，次高为 2# 采样点，为 9.62 mg/L，最低为 11# 采样点，为 0.32 mg/L。丰度与生物量水平分布各采样点差异显著(图 4)。

湖区中水体滞留时间和营养盐浓度都会影响藻类的生长繁殖[12] [13]，太湖国家湿地公园水体有滞留，营养盐含量高，都会促进藻类的生长繁殖。2#、3# 采样点氮磷营养盐含量较高，受到有机污染较重，因此浮游植物丰度和生物量均较高，4#~10# 采样点环境较为相似，丰度和生物量没有明显的差异。12# 采样点位于污水处理厂内，1# 采样点距离污水处理厂排水口很近，受到污水处理厂排出废水的影响，11# 采样点位于污水处理厂排水沟渠内，为处理“中水”。这 3 个采样点污染严重，浮游植物丰度和生物量均较低。

3.4. 浮游植物的优势种和常见种

3.4.1. 优势种

根据浮游植物出现的频率和丰度，以优势度 $y > 0.02$ 为界来确定优势种，太湖国家湿地公园浮游植物优势种及其优势度见表 3。

水质污染程度会对浮游植物的群落分布产生影响，使部分具有污染指示功能的藻类在种类和数量上发生变化。秋季太湖国家湿地公园的优势种梅尼小环藻、栅藻、颗粒直链藻、钝脆杆藻、衣藻均属于富营养型水体的指示藻类，并且梅尼小环藻优势度最高，为 0.312，这些藻类的大量存在显示出水体污染严重，有机物浓度较高[14]。

Table 2. Abundance and biomass of phytoplankton in Tai Lake National Wetland Park in autumn
表 2. 太湖国家湿地公园秋季浮游植物各采样点丰度和生物量

	丰度($\times 10^4$ ind./L)	生物量(mg/L)
1#	145.2	1.39
2#	1250.4	9.62
3#	1320.0	13.11
4#	806.4	5.37
5#	724.8	7.97
6#	549.6	3.98
7#	993.6	9.40
8#	511.2	4.52
9#	628.8	5.62
10#	772.8	6.35
11#	40.8	0.32
12#	124.8	0.47

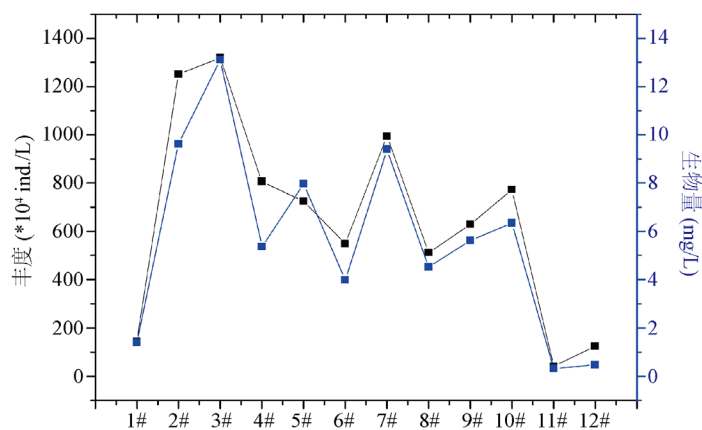


Figure 4. Variation of abundance and biomass of phytoplankton in Tai Lake National Wetland Park in autumn

图 4. 太湖国家湿地公园浮游植物丰度及生物量的水平分布

Table 3. Dominant species of phytoplankton in Tai Lake National Wetland Park in autumn
表 3. 太湖国家湿地公园秋季浮游植物各季节优势种

优势种	丰度($\times 10^4$ ind./L)	出现频率	优势度
微小平裂藻	390	0.83	0.041
钝脆杆藻	333.6	0.83	0.035
颗粒直链藻极狭变种	849.6	0.75	0.081
尖针杆藻	220.8	0.75	0.021
梅尼小环藻	2452.8	1.00	0.312
球衣藻	525.6	0.50	0.033
卵形衣藻	334.8	0.92	0.039
四尾栅藻	313.2	0.92	0.036

3.4.2. 常见种

根据频率 > 65%为原则确定为常见种, 泰湖国家湿地公园秋季浮游植物的常见种属为 4 门 15 种(表 4)。

秋季泰湖国家湿地公园的常见种梅尼小环藻、栅藻、细小平裂藻、颗粒直链藻、衣藻均属于富营养型水体的指示藻类, 金藻门藻类减少而隐藻增加也表明水体受到了有机污染[15], 表明泰湖国家湿地公园的水质污染严重。

Table 4. Common species of phytoplankton in Tai Lake National Wetland Park in autumn

表 4. 泰湖国家湿地公园秋季浮游植物常见种

门	种	拉丁名
蓝藻门	细小平裂藻	<i>Merismopedia minima</i>
	微小色球藻	<i>Chroococcus minutus</i>
硅藻门	钝脆杆藻	<i>Fragilaria ca pucina</i>
	颗粒直链藻极狭变种	<i>Melosira granulata var.</i>
	尖针杆藻	<i>Synedra acus</i>
	双头针杆藻	<i>Synedra amphicephal</i>
	梅尼小环藻	<i>Cyclotella meneghiniana</i>
隐藻门	卵形隐藻	<i>Cocconeis placentula</i>
绿藻门	卵形衣藻	<i>Chlamydomonas ovalis</i>
	狭形纤维藻	<i>Ankistrodesmus angustus</i>
	卷曲纤维藻	<i>Ankistrodesmus convolutus</i>
	二形栅藻	<i>Scenedesmus dimorphus</i>
	四尾栅藻	<i>Scenedesmus quadricauda</i>
	弯曲栅藻	<i>Scenedesmus arcuatus</i>
	粘四集藻	<i>Palmella mucosa</i>

3.5. 浮游植物多样性的水平分布

调查期间泰湖国家湿地公园浮游植物的多样性指数在各采样点间存在差异(表 5)。秋季 Shannon-Weaver 指数波动于 0.998~3.075 之间, 最高为 7#采样点, 为 3.075, 次高为 9#采样点, 为 2.930, 最低为 11#采样点, 为 0.998; 秋季 Margalef 丰富度指数波动于 0.747~2.858 之间, 最高为 7#采样点, 为 2.858, 次高为 8#采样点, 为 2.778, 最低为 11#采样点, 为 0.747。Shannon-Weaver 指数与 Margalef 丰富度指数水平差异显著(图 5)。多样性指数可以反映生物群落的多样性程度, 有时与环境并不能完全吻合。结合水质理化指标可得出, 泰湖国家湿地公园秋季水质为中污 - 重污水平。

浮游生物群落结构、丰度、多样性指数及水体理化指标等均能在一定程度上反映水体的水质状况[16]。浮游植物在贫营养水体中金藻占主体, 中营养型水体硅藻占主体, 富营养型水体则以绿藻、蓝藻占主体。本调查中秋季浮游植物以绿藻、硅藻为主, 说明泰湖国家湿地公园水体处于中 - 富营养型状态。

根据多样性指数评价标准对水质状况进行综合评价可知, 泰湖国家湿地公园水体属于中 - 重污型, 特别是位于污水处理厂的 12#采样点、为污水处理厂处理“中水”的 11#采样点及排水口附近的 1#采样点污染最为严重。由于污水处理厂尾水的排放, 导致其污染物浓度很高, 浮游植物的种类、丰度和生物

量, 以及多样性指数均较低[17], 表明 3 个采样点的水体受到严重污染。其余各采样点距离污水处理厂排污口距离较远, 污染物浓度降低, 浮游生物的种类、丰度和生物量, 以及生物多样性指数逐渐上升, 虽然水质状况较 1#、11#、12# 采样点有所改善, 但是受污染程度仍然很重。

Table 5. Variation of index and assessment results of phytoplankton in Tai Lake National Wetland Park in autumn
表 5. 太湖国家湿地公园秋季浮游植物各采样点多样性指数及污染评价

采样点	H'	污染评价	d	污染评价
1#	1.566	中污	0.966	重污
2#	1.673	中污	2.429	中污
3#	2.231	中污	2.122	中污
4#	2.500	中污	2.589	中污
5#	2.910	中污	2.718	中污
6#	2.661	中污	2.655	中污
7#	3.075	清污	2.858	中污
8#	2.851	中污	2.778	中污
9#	2.930	中污	2.689	中污
10#	2.732	中污	2.432	中污
11#	0.998	重污	0.747	重污
12#	1.485	中污	0.861	重污
平均值	2.301	中污	2.153	中污

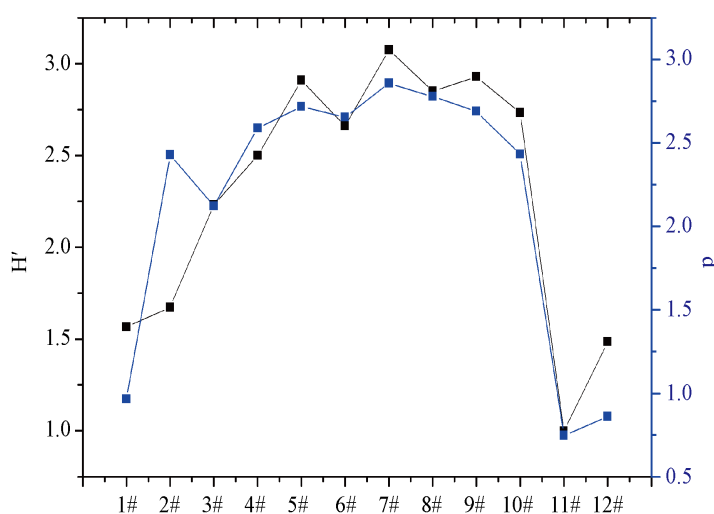


Figure 5. Variation of Shannon-Wiener (H') and Margalef (d) index of phytoplankton in Tai Lake National Wetland Park in autumn

图 5. 太湖国家湿地公园秋季浮游植物多样性指数 d 的变化

3.6. 各采样点浮游植物分析

浮游植物群落结构受多种因素的影响, 它反应了浮游植物与环境的动态关系[18]。水体营养物质的增加会造成水体富营养化, 营养物质的增加以及合适的营养比例刺激了对营养物质有“奢侈”要求的浮游

植物大量繁殖,数量增加,水质恶化[19]。随着污染强度的增大,降低了本来在自然条件下具有竞争优势物种的竞争能力,导致耐受污染能力强的浮游植物成为优势种,在水中大量繁殖[20]。

太湖国家湿地公园秋季共设置采样点 12 个,具体情况如下:

1#采样点靠近岸边,周围长有芦苇,菖蒲,为淤泥底质,距离污水处理厂排水口很近,污染严重。1#采样点氮磷营养盐含量很高,浮游植物以蓝、绿藻为主,受到污水处理厂排出废水的影响,污染严重,浮游植物种类、丰度和生物量均较低,生物多样性指数显示该采样点为重污水平。

2#采样点远离岸边,淤泥底质,周围长有香蒲,氮磷营养盐含量很高,5 日生化需氧量显示该采样点受有机物污染较重。浮游植物以绿藻门和硅藻门为主,特别是指示富营养水体的梅尼小环藻和栅藻在此采样点占据优势,结合生物多样性指数可知此采样点水质处于中-富营养水平。2#采样点氮磷营养盐含量较高,受到有机污染较重,因此浮游植物丰度和生物量均较高。

3#采样点远离岸边,淤泥底质,水质混浊,周围长有芦苇,浮游植物以耐污性较强的蓝藻、裸藻和绿藻为主,特别是指示富营养水体的颗粒直链藻、梅尼小环藻、球衣藻、栅藻数量很多。3#采样点氮磷营养盐含量较高,受到一定程度的有机污染,浮游植物生物量最高,富营养化程度较重。

4#采样点远离岸边,淤泥底质,周围长有芦苇,浮游植物以耐污性强的硅藻门、绿藻门和裸藻门为主。富营养化指示种梅尼小环藻在数量上占据优势。

5#采样点远离岸边,淤泥底质,周围长有芦苇,化学需氧量最高,表明此点受到严重的有机物污染。浮游植物以硅藻门和绿藻门为主,且多为富营养化的指示种,并且耐污性强的裸藻种类和数量较多。

6#采样点远离岸边,外围为草地,湖内长有少许芦苇,淤泥底质,浮游植物以耐污性强的硅藻门、绿藻门和裸藻门为主。指示富营养水体的栅藻、衣藻、梅尼小环藻在数量占优势。

7#采样点远离岸边,淤泥底质,浮游植物种类最多,以耐污性强的硅藻门、绿藻门和裸藻门为主。指示富营养水体的栅藻、衣藻、梅尼小环藻、颗粒直链藻数量很多。

8#采样点远离岸边,淤泥底质,周围长有芦苇,菖蒲,5 日生化需氧量显示该采样点受有机物污染较重。浮游植物以耐污性强的硅藻门、绿藻门和裸藻门为主。

9#采样点远离岸边,淤泥底质,周围长有芦苇,菖蒲,氮营养盐含量较高,浮游植物以耐污性强的硅藻门、绿藻门和裸藻门为主。

10#电导率最高周围长有芦苇,菖蒲,浮游植物以耐污性强的硅藻门、绿藻门和裸藻门为主。指示富营养水体的梅尼小环藻数量上占据绝对优势。

11#采样点位于一水泥沟渠内,是污水处理厂的排水口,处理后的污水由此直接排放进入太湖,所采水样为处理厂处理后的“中水”。该采样点浮游植物种类及数量最少,仅有 5 种,并且主要为绿藻门。虽然该排水口排出的废水已经经过处理,但氮磷营养盐含量以及五日生化需氧量均较高,仍含有一定量的污染物,该采样点浮游植物丰度和生物量均为最低,生物多样性指数显示该采样点为重污水平。

12#采样点位于污水处理厂中,为处理废水,氮磷营养盐含量很高。该采样点浮游植物种类、数量均较少,主要为梅尼小环藻、河生集星藻、纤维藻,均为富营养水体指示藻类。浮游植物丰度和生物量均较低,生物多样性指数显示此采样点水质为重污。

4. 结论

1) 经过镜检,太湖国家湿地公园共鉴定出浮游植物 7 门属 62 种及变种,其中绿藻门种数最多 32 种,占 51.61%;硅藻门次之,16 种,占 25.81%;裸藻门 6 种,占 9.68%;蓝藻门 2 种,金藻门 2 种,隐藻门 2 种,甲藻门 2 种,各占 3.23%。太湖国家湿地公园各采样点的秋季浮游植物种数数据表明,1#、11#、12#采样点的物种数较少,其余样点的物种数相差不多。

2) 通过太湖国家湿地公园调查结果来看, 太湖国家湿地公园秋季浮游植物的丰度与生物量各采样点水平差异显著。丰度波动于 $40.8 \times 10^4 \text{ ind./L} \sim 1320.0 \times 10^4 \text{ ind./L}$ 之间, 最高为 3# 采样点, 次高为 2# 采样点, 最低为 11# 采样点; 生物量全年在 $0.32 \text{ mg/L} \sim 13.11 \text{ mg/L}$ 之间。最高为 3# 采样点, 次高为 2# 采样点, 最低为 11# 采样点。

3) 太湖国家湿地公园秋季浮游植物优势种共 8 种, 其中绿藻门 3 种、硅藻门 4 种、蓝藻门 1 种。

4) Shannon-Weaver 和 Margalef 多样性指数表明太湖国家湿地公园水质为中污染。

基金项目

“十三五”国家重点研发计划项目(2016YFC0500406)。中央高校基金项目, 编号 2572019DF09。

参考文献

- [1] 覃宝利, 唐金玉, 王宣朋, 吴春, 叶建勇, 丁辰龙. 骆马湖夏季浮游植物群落结构变化及其驱动因子分析[J]. 生态与农村环境学报, 2019(9): 1172-1181.
- [2] 赵思琪, 范垚城, 代嫣然, 王飞华, 梁威. 水体富营养化改善过程中浮游植物群落对非生物环境因子的响应: 以武汉东湖为例[J]. 湖泊科学, 2019, 31(5): 1310-1319.
- [3] 魏志兵, 柴毅, 罗静波, 郭坤, 谭凤霞, 杨德国, 何勇凤. 长湖浮游植物优势种季节演替及生态位分析[J]. 水生生物学报: 1-11.
- [4] 褚一凡, 赵闪闪, 李杲光, 靳同霞, 马剑敏. 陈桥东湖浮游生物群落结构特征及水质评价[J]. 长江科学院院报, 2019, 36(8): 23-29.
- [5] 张囡囡, 刘宜鑫, 臧淑英. 黑龙江扎龙湿地不同功能区浮游植物群落与环境因子的关系[J]. 湖泊科学, 2016, 28(3): 554-565.
- [6] 高毅群, 赵立国, 张丽敏, 陈海雁. 泰来县泰湖水水质污染现状及防治对策[J]. 黑龙江环境通报, 2003, 27(4): 23-24.
- [7] 吉正元, 刘绍俊. 抚仙湖浮游植物群落结构、影响因子及水质评价[J]. 中国环境监测, 2019, 35(4): 67-77.
- [8] 陈楠, 王莹, 杨天雄, 于洪贤, 马成学. 太湖夏季浮游植物功能群特征及水质状况[J]. 东北林业大学学报, 2018, 46(3): 69-73.
- [9] 朱思雨, 刘善辉, 卢琳琳. 黑龙江省泰湖湿地公园春季鸟类多样性初步研究[J]. 野生动物学报, 2017, 38(2): 273-279.
- [10] 张觉民, 何志辉. 内陆水域渔业自然资源调查手册[M]. 北京: 农业出版社, 1991.
- [11] 龚勋, 张永杰. 倒天河水库和碧阳湖夏秋季浮游植物群落组成及水质评价[J]. 环境研究与监测, 2019, 32(2): 1-6.
- [12] 何欣霞, 陈诚, 董建玮, 王智源, 毛媛媛, 陈求稳. 江苏里下河腹部地区湖泊湖荡春季浮游植物群落结构和营养状态[J]. 环境科学学报, 2019, 39(8): 2626-2634.
- [13] 孙鑫, 李兴, 勾芒芒. 乌梁素海冻融前后浮游植物群落结构特征及其影响因素分析[J]. 生态环境学报, 2019, 28(4): 812-821.
- [14] 李希磊. 莱州湾与四十里湾扇贝养殖区养殖环境及浮游植物群落结构研究[D]: [硕士学位论文]. 烟台: 烟台大学, 2019.
- [15] 杨俊丽. 烟台扇贝养殖区环境因子的变化特征及其对浮游植物的影响[D]: [硕士学位论文]. 烟台: 烟台大学, 2018.
- [16] 张韦, 吴会民, 蔡超, 李文雯, 缴建华. 主养凡纳滨对虾池塘水体理化因子及浮游生物变化特征[J]. 经济动物学报, 2019, 23(1): 29-35+43.
- [17] 蔡晓钰. 入湖污染物对阳澄湖水质及浮游生物的影响研究[D]: [硕士学位论文]. 苏州: 苏州科技学院, 2015.
- [18] 夏莹霏, 胡晓东, 徐季雄, 李一平, 吴苏舒, 吴沛沛. 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.
- [19] 吴雪峰. 淀山湖浮游植物增长营养物限制初步研究[D]: [硕士学位论文]. 上海: 东华大学, 2010.
- [20] 方浩. 珠江口常见浮游植物对典型污染物的生理生态响应[D]: [硕士学位论文]. 广州: 暨南大学, 2011.

附录 太湖国家湿地公园秋季浮游植物名录

门	属	种	拉丁文
蓝藻门	平裂藻属	微小平裂藻	<i>Merismopedia minima</i>
	色球藻属	微小色球藻	<i>Chroococcus minutus</i>
硅藻门	脆杆藻属	钝脆杆藻	<i>Fragilaria ca pucina</i>
		短线脆杆藻	<i>Fragilaria brevistriata</i>
	直链藻属	颗粒直链藻极狭变种	<i>Melosira granulata</i>
		颗粒直链藻	<i>Melosira granulata</i>
	针杆藻属	尖针杆藻	<i>Synedra acus</i>
		双头针杆藻	<i>Synedra amphicephala</i>
	小环藻属	梅尼小环藻	<i>Cyclotella meneghiniana</i>
	舟形藻属	短小舟形藻	<i>Navicula exigua</i>
		双头舟形藻	<i>Navicula dicephala</i>
		英吉利舟形藻	<i>Navicula anglica</i>
	异极藻属	缢缩异极藻	<i>Gomphonema constrictum</i>
	羽纹藻属	短肋羽纹藻	<i>Pinnularia brevicostata Cl</i>
		大羽纹藻	<i>Pinnularia major</i>
	双菱藻属	卵形双菱藻	<i>Surirella ovata</i>
	双眉藻属	卵圆双眉藻	<i>Amphora ovalis</i>
布纹藻属	尖布纹藻	<i>Gyrosigma acuminatum</i>	
金藻门	鱼鳞藻属	鱼鳞藻 sp	<i>Mallomonas.sp</i>
	锥囊藻属	分歧锥囊藻	<i>Dinobryon bavaricum</i>
甲藻门	裸甲藻属	裸甲藻	<i>Gymnodinium aerucyinosum Stein</i>
	多甲藻属	二角多甲藻	<i>Peridinium bipes Stein</i>
隐藻门	隐藻属	卵形隐藻	<i>Cryptomonas ovata</i>
		啮蚀隐藻	<i>Cryptomonas erosa Ehr</i>
裸藻门	裸藻属	纤细裸藻	<i>Euglena gracilis</i>
		刺鱼状裸藻	<i>Euglena gasterosteus</i>
		棒形裸藻	<i>Euglena clavata</i>
	扁裸藻属	长尾扁裸藻	<i>Phacus longicauda</i>
	囊裸藻属	囊裸藻 sp	<i>Granulosa.sp</i>
	陀螺藻属	糙膜陀螺藻	<i>Strombomonas schauinslandii</i>

Continued

绿藻门	衣藻属	球衣藻	<i>Chlamydomonas globosa</i>
		卵形衣藻	<i>Chlamydomonas ovalis</i>
	纤维藻属	狭形纤维藻	<i>Ankistrodesmus angustus</i>
		镰形纤维藻	<i>Ankistrodesmus falcatus</i>
		卷曲纤维藻	<i>Ankistrodesmus convolutus</i>
	顶棘藻属	四刺顶棘藻	<i>Chodatella quadriseta</i>
	栅藻属	二形栅藻	<i>Scenedesmus dimorphus</i>
		四尾栅藻	<i>Scenedesmus quadricauda</i>
		弯曲栅藻	<i>Scenedesmus arcuatus</i>
	空球藻属	空球藻	<i>Eudorina elegans</i>
	实球藻属	实球藻	<i>Pandorina morum</i>
	盘星藻属	二角盘星藻	<i>Pediastrum duplex</i>
		二角盘星藻纤细变种	<i>Pediastrum duplex var gracillimum</i>
	月牙藻属	纤细月牙藻	<i>Selenastrum gracile</i>
	蹄形藻属	蹄形藻	<i>Kirchneriella lunaris</i>
	十字藻属	直角十字藻	<i>Crucigenia rectangularis</i>
		四足十字藻	<i>Crucigenia tetrapedia</i>
	新月藻属	纤细新月藻	<i>Closterium gracile Breb.</i>
	鼓藻属	光滑鼓藻	<i>Cosmarium candianum</i>
		扁鼓藻	<i>Cosmarium depressum</i>
	角星鼓藻属	纤细角星鼓藻	<i>Staurastrum gracile Ralfs</i>
		角星鼓藻 sp	<i>Staurastrum.sp</i>
	拟韦斯藻属	线性拟韦斯藻	<i>Westellopsis linearis</i>
	四集藻属	粘四集藻	<i>Palmella mucosa</i>
	韦斯藻属	韦斯藻	<i>Westella botryoides</i>
	四角藻属	膨胀四角藻	<i>Tetraedron tumidulum</i>
	集星藻属	河生集星藻	<i>Actinastrum fluviatile</i>
	丝藻属	多形丝藻	<i>Ulothrix variabilis</i>
	弓形藻属	拟菱形弓形藻	<i>Schroederia nitzschioides</i>
		螺旋弓形藻	<i>Schroederia spiralis</i>
	小桩藻属	狭形小桩藻	<i>Characium angustum</i>
	微茫藻属	微茫藻	<i>Micractinium pusillum</i>