

阳澄湖水源藻类的季节性分布特征

景二丹¹, 马凯迪¹, 周艳红², 章文华¹, 许小燕¹, 关永年¹,
Wido Schmidt³, 刘洪波²

(1. 苏州工业园区清源华衍水务有限公司, 江苏 苏州 215021; 2. 上海理工大学 环境与建筑学院, 上海 200093; 3. 德国水技术中心, 德国)

摘要: 对2017年1月—11月阳澄湖水体中的藻类进行监测, 分析了藻类总数以及优势种群、种属的季节性分布特征。结果表明, 阳澄湖四季的优势藻类主要为硅藻、蓝藻、绿藻。绿藻是阳澄湖冬季(1月—2月)的优势藻种, 占藻类总数的40.3%, 其优势种属是新月藻属和丝藻属。硅藻是阳澄湖春季(3月—5月)的优势藻种, 占藻类总数的53.9%, 优势种属是小环藻属、直链藻属、针杆藻属, 但每个月份的优势种属有所差异。夏、秋季, 暴发蓝藻水华, 蓝藻成为阳澄湖的优势藻类, 7月份其占到藻类总数的83.3%; 11月份时蓝藻数量已大量减少, 硅藻、绿藻、蓝藻数量相当, 藻类总数降至 305×10^4 个/L。秋、冬季藻类形态分布范围广, 各种藻数量相差不大。水温是影响藻类种群季节性变化的重要因素之一。

关键词: 阳澄湖; 藻类; 优势种; 季节性分布特征

中图分类号: TU991 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2019)15-0073-04

Seasonal Distribution Characteristics of Algae in Yangcheng Lake

JING Er-dan¹, MA Kai-di¹, ZHOU Yan-hong², ZHANG Wen-hua¹,
XU Xiao-yan¹, GUAN Yong-nian¹, Wido Schmidt³, LIU Hong-bo²

(1. Suzhou Industrial Park Qingyuan Hong Kong & China Water Co. Ltd., Suzhou 215021, China;
2. School of Environment and Architecture, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai
200093, China; 3. DVGW-Technologiezentrum Wasser, Germany)

Abstract: The algae in Yangcheng Lake were monitored from January to November 2017. The total density of algae and the seasonal characteristics of dominant populations and species were analyzed. The results showed that the dominant phylum of Yangcheng Lake were diatom, blue-green algae, and green algae in the four seasons. Green algae was the majority algae in Yangcheng Lake in winter (January to February), which accounted for 40.3% of the total algae, and its dominant species were *Closterium* and *Ulothrix*. Diatom was the majority algae in Yangcheng Lake in spring (March to May), which accounted for 53.9% of the total algae, and its dominant species were *Cyclotella*, *Melosira*, *Synedra*, and the dominant species varied by month. In summer and autumn, blue-green algae grew and became the dominant phylum in Yangcheng Lake, its accounted for 83.3% of the total algae in July. In November, the amount of blue-green algae was greatly reduced, diatom, green algae, and blue-green

algae were similar, and the total density of algae decreased to 305×10^4 per liter. In autumn and winter, the species of algae showed a wide range of distribution, and the quantity of algae was similar. The water temperature was one of the important factors affecting the seasonal variation of algae population.

Key words: Yangcheng Lake; algae; dominant species; seasonal distribution characteristics

阳澄湖是苏州市区和昆山市城区主要饮用水水源地。随着湖泊周边人口密度的增加,水产养殖和旅游业迅速发展,使得大量污染物进入阳澄湖,导致水体富营养化程度加剧^[1]。进入21世纪后阳澄湖水质为Ⅲ~Ⅳ类,部分指标为Ⅴ类,严重影响居民用水,也制约了阳澄湖的经济建设和生态发展^[2]。

藻类是水生生态系统中必不可少的成分,其群落结构和种群数量有着明显的季节性特点^[3]。淡水湖泊中藻类主要有硅藻、蓝藻和绿藻,春季多发生硅藻水华,夏、秋季水华多以蓝藻形式暴发。

阳澄湖为几个市区提供水源供应,富营养化比较严重时,藻类过量繁殖及代谢产物增多,饮用水口感差,有霉味、腥味,直接影响水厂的制水生产,而且有些藻类的降解物为有毒物质,对人体健康有很大威胁。笔者按照标准检测方法对阳澄湖水体中藻类形态特性进行检测,考察不同季节藻类的变化规律,了解阳澄湖在不同季度的水质情况,旨在为水厂不同季度的除藻工艺选择提供依据。

1 试验材料与方法

1.1 仪器与试剂

显微镜(Nikon Ci-S, 尼康);碘(100 g/瓶, AR);碘化钾(500 g/瓶, AR);容量瓶(25 mL, Witeg);移液枪(200 μ L, Brand);血球计数框(0.1 mL, 20 mm \times 20 mm);有机玻璃采样容器。

1.2 试验方法

固定液(鲁哥氏液):40 g 碘溶于碘化钾含量为60 g 的1 000 mL水溶液中。

检测流程:按照《水和废水监测分析方法》(第4版),有机玻璃采样容器取水后,马上加入固定液(15 mL/L水样)固定,直接静置沉淀24 h后,用虹吸管小心抽掉上清液,余下20 mL沉淀物转入25 mL容量瓶里并用上清液定容。充分摇匀后,移取100 μ L混合物注入血球计数框,在10 \times 40倍显微镜下计数,并参照《淡水微型生物图谱》对藻类的形态进行初步分析。

1.3 水样采集

2017年1月—11月期间,对阳澄湖水源水进行

每周1次采样,取样点为水厂原水取水口。有机玻璃采样容器上下底面均有活门,采水器沉入水中,活门自动开启采取水样,将水样倒入加有15 mL固定液的1 L棕色采样瓶中固定后送回实验室待测。

1.4 数据分析

每升水中藻类数量计算公式如下:

$$N = \frac{A}{A_c} \times \frac{V_w}{V} n \quad (1)$$

式中: N 为每升水中藻类数量,个/L; A 为计数框面积, mm^2 ; A_c 为计数面积,即视野面积 \times 视野数, mm^2 ; V_w 为1 L水样经沉淀浓缩后的体积,mL; V 为计数框体积,mL; n 为计数所得的藻类数量。

2 结果与讨论

2.1 藻类群落组成的季节性分布

2.1.1 藻类数量

按照试验方法对2017年1月—11月原水中藻类总数及优势种属进行检测,结果表明,阳澄湖的藻类数量有明显的季节性变化特征,藻类总数在8月出现峰值。阳澄湖冬季(1月—2月)的藻类数量基本稳定,主要以绿藻为主;春季(3月—5月)藻类总数呈缓慢增长趋势,绿藻数量减少,蓝藻数量逐渐增加,但增加速率不大,总数为 519×10^4 个/L,优势藻类为硅藻,占到藻类总数的50%~60%。随着水温升高,蓝藻大量繁殖,绿藻数量呈波动性变化,但硅藻数量一直减少,8月份时降至最低。姜霞等^[4]的研究也表明,硅藻更适合在温度较低的环境下生长,而蓝藻在高温下繁殖生长较快。

夏季(6月—8月)阳澄湖藻类总数先快速增长后降低,6月硅藻数量下降,蓝藻数量上升成为优势藻类,7月—8月硅藻全季度数量最少,说明硅藻处于休眠状态;8月初期藻类数量出现峰值,达到最高值,为 $6\,666 \times 10^4$ 个/L,此时蓝藻占比虽下降,但依然是优势藻种,绿藻数量升至30%以上。秋季(9月—11月)阳澄湖的藻类数量大幅下降,9月藻类总数还是比较高的,但随着温度逐渐下降,蓝藻繁殖速度降低,此时蓝藻、硅藻和绿藻占比相当,是阳澄湖的主要藻类。

2.1.2 藻类优势种属

对所测藻类数据进行汇总分析,阳澄湖原水中主要藻类有3个门、28个属,分别为绿藻门12属(星藻属、多芒藻属、小球藻属、纤维藻属、月牙藻属、丝藻属、鼓藻属、新月藻属、十字藻属、盘星藻属、栅藻属、集星藻属)、蓝藻门8属(色球藻属、平列藻属、微囊藻属、颤藻属、鱼腥藻属、蓝纤维藻属、束丝藻属、尖头藻属)、硅藻门8属(直链藻属、小环藻属、脆杆藻属、等片藻属、针杆藻属、舟形藻属、脆杆藻属、桥弯藻属),绿藻门种类最多,这与洪湖、巢湖的藻类生长情况^[3-4]相似。

调查期间1月—11月阳澄湖的主要优势藻类为硅藻、绿藻和蓝藻。其中,1月—2月的优势藻是绿藻,其优势种属为新月藻属和丝藻属,两种藻占到绿藻的95%;3月—5月的优势藻是硅藻,其优势种属为小环藻属、直链藻属、针杆藻属,小环藻属是3月份的优势种属,直链藻属在4月和5月成为优势种属;6月—9月的优势藻为蓝藻,其优势种属有鱼腥藻属、颤藻属、色球藻属、微囊藻属,鱼腥藻属是6月份的优势种属,颤藻属在7月—9月成为优势种属;11月份的优势藻包括了硅藻、绿藻和蓝藻,3种藻各占总数的30%左右,优势种属有鱼腥藻属、颤藻属、栅藻属、盘星藻属、舟星藻属、直链藻属,秋、冬季藻种形态分布范围广,各种藻数量相差不大,比例都在50%以下。此外,优势藻种占比至少在50%以上,7月份蓝藻暴发时更是达到了83.3%。检测出的藻种均是湖泊水体中常见种类,这与宋学宏等^[1]对阳澄湖东湖藻类的研究结果相符。

2.2 藻类分布特征与水温的关系

温度是影响藻类生长的重要环境因素之一^[5]。试验期间阳澄湖的优势藻种在不同水温下的分布特征见图1。可以看出,当水温在7~20℃范围内时,绿藻和蓝藻数量较少,在 150×10^4 个/L左右,而且数值基本稳定;硅藻则一直处于活跃时期,数量在 $(900 \sim 2\,200) \times 10^4$ 个/L范围内波动。水温在22℃时,3种藻类都开始大量繁殖,可能原因是该温度下藻类对水中盐类和营养物质的吸收开始增加。当水温达到22~25℃时,硅藻大量繁殖,处于巅峰阶段,数量达到 $4\,500 \times 10^4$ 个/L。水温继续升高后,硅藻数量骤降至 300×10^4 个/L,蓝藻和绿藻开始迅速增长。水温在29~35℃之间是蓝藻最适宜的生长条件。

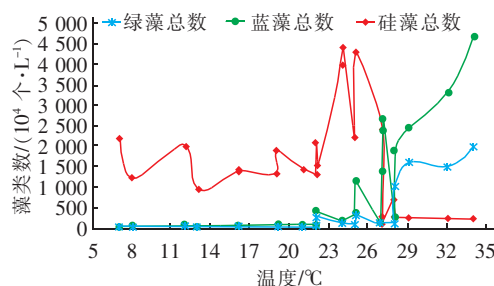


图1 优势藻种分布特征与水温的关系

Fig.1 Relationship between distribution characteristics of dominant algae and water temperature

2.3 藻类分布特征与氮、磷的关系

试验期间,阳澄湖水体中总氮浓度在0.62~1.78 mg/L之间,TP浓度维持在较高水平,为0.03~0.25 mg/L,具备暴发蓝藻水华的条件。尤其是夏季,原水中TP浓度是其他季节的2倍左右,藻类总数也明显增加。结果表明,总磷是影响蓝藻生长的主要因素,蓝藻门中的鱼腥藻属、颤藻属、微囊藻属、色球藻属均随着总磷浓度的升高而大量繁殖。

2.4 藻类代谢产物对水厂制水的影响

蓝藻代谢会产生影响人体健康的藻毒素,主要出自微囊藻属、鱼腥藻属、束丝藻属等,人们直接接触或饮用含有藻毒素的水会引起不适的皮肤反应和肠胃炎等^[6]。因此,自来水厂对原水中的藻类代谢产物要加以重视。夏季阳澄湖暴发蓝藻水华时,应优先考虑采用气浮、过滤等方法将藻细胞完整去除,避免藻细胞破碎而使藻毒素流出。淡水中硅藻产生的毒素较少,但是高密度的硅藻水华暴发和腐烂会使水体严重缺氧,使得水厂制水成本提高^[7]。蓝藻和绿藻产生的臭味物质(如2-甲基异莰醇和土臭素)不仅影响感官享受,对人们身心危害也较大^[8]。通过前面的分析可知,6月—11月阳澄湖水体以蓝藻、绿藻为优势藻种,且藻类数量较大,阳澄湖原水中应含有严重影响人们身体健康的藻毒素和臭味物质,为保证饮用水水质安全,水厂需根据这一时期的具体水质情况选择相对合适的处理工艺。

3 结论

阳澄湖水体检测出的藻类主要分为3门28属。冬季(1月—2月)的藻类数量基本稳定,主要以绿藻为主,优势种属为新月藻属和丝藻属,富营养化程度为寡营养型;春季(3月—5月)的藻类总数逐渐增加,绿藻比例逐步减少,硅藻成为优势藻种,其优势藻属有小环藻属、直链藻属、针杆藻属,富营养化

程度为中-富营养型;夏季(6月—9月)优势藻类出现更替,蓝藻成为优势藻种,6月份蓝藻占比相对最低,但也达到55.3%,7月份占比最高,达到了83.3%,蓝藻的优势种属有鱼腥藻属、颤藻属、微囊藻属、色球藻属,富营养化程度达到富营养型;秋季(10月—11月)阳澄湖的优势藻类包括蓝藻、绿藻和硅藻,优势藻属包括鱼腥藻属、颤藻属、栅藻属、盘星藻属、舟星藻属、直链藻属,富营养化程度为中-富营养型。阳澄湖水温在7~26℃之间时,适宜硅藻生长;水温在22~35℃之间时,绿藻和蓝藻大量生长。

参考文献:

- [1] 宋学宏,邴旭文,孙丽萍,等. 阳澄湖网围养殖区水体营养盐的时空变化与水质评价[J]. 水生态学杂志, 2010,3(6):23-29.
Song Xuehong, Bing Xuwen, Sun Liping, *et al.* The spatial and temporal changes of nutrients of net-pen aquaculture area in Yangcheng Lake and its water quality evaluation [J]. Journal of Hydroecology, 2010,3(6):23-29 (in Chinese).
- [2] 杨积德,沈桢,陈美丹,等. 阳澄湖水环境综合整治对策研究与分析[J]. 中国给水排水, 2010,26(6):6-10.
Yang Jide, Shen Zhen, Chen Meidan, *et al.* Research on comprehensive improvement countermeasures of Yangcheng Lake water environment [J]. China Water & Wastewater, 2010,26(6):6-10 (in Chinese).
- [3] 卢碧林,严平川,田小海,等. 洪湖水体藻类藻相特征及其对生境的响应[J]. 生态学报, 2012,32(3):680-689.
Lu Bilin, Yan Pingchuan, Tian Xiaohai, *et al.* Characteristics of algous facies of planktonic algae in Lake Honghu and its response to habitat [J]. Acta Ecologica Sinica, 2012,32(3):680-689 (in Chinese).
- [4] 姜霞,王书航,钟立香,等. 巢湖藻类生物量季节性变化特征[J]. 环境科学, 2010,31(9):2056-2062.
Jiang Xia, Wang Shuhang, Zhong Lixiang, *et al.* Seasonal variation characteristics of algae biomass in Chaohu Lake [J]. Environmental Science, 2010,31(9):2056-2062 (in Chinese).
- [5] 覃宝利,扬州,张民. 温度波动对浮游藻类生长及多糖组成的影响[J]. 湖泊科学, 2014,26(3):432-440.
Qin Baoli, Yang Zhou, Zhang Min. The effect of temperature fluctuation on the growth and polysaccharide composition of phytoplankton [J]. Journal of Lake Sciences, 2014,26(3):432-440 (in Chinese).
- [6] 黄克虎. 太湖流域某市水源水及制水工艺中嗅味物质的动态变化研究[D]. 南京:东南大学, 2016.
Huang Kehu. Dynamic Variations of Typical Taste & Odor Compounds in Water-sources and Waterworks Treatment Processes of a City in Taihu Basin [D]. Nanjing: Southeast University, 2016 (in Chinese).
- [7] 石彭灵. 淡水硅藻的光适应策略研究[D]. 武汉:华中农业大学, 2015.
Shi Pengling. Studies on Light Adaptation Strategies in Freshwater Diatoms [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2015 (in Chinese).
- [8] 朱帅,贾静,饶竹,等. 吹扫捕集-气相色谱-质谱法联用测定水中典型的嗅味物质[J]. 环境化学, 2016, 35(10):2127-2133.
Zhu Shuai, Jia Jing, Rao Zhu, *et al.* Determination of typical taste and odor compounds in water by purge and trap-gas chromatography-mass spectrometry [J]. Environmental Chemistry, 2016,35(10):2127-2133 (in Chinese).



作者简介:景二丹(1985-),女,山东菏泽人,大专,工程师,主要从事水质检测及水处理技术研究工作。

E-mail: jinged@sz-hkcw.com

收稿日期:2019-02-12