

西湖叶绿素 a 周年动态变化 及藻类增长潜力试验^{*}

吴 洁¹ 钱天鸣¹ 虞左明²

(1: 杭州市环境监测中心站, 杭州 310007; 2: 杭州市环境保护研究所, 杭州 310005)

提 要 通过 1999 年 1-12 月对杭州西湖主要湖区叶绿素 a 含量及水质理化指标的逐月测定, 分析了西湖主要湖区叶绿素 a 含量周年动态变化特征及各种环境生态因子对叶绿素 a 的影响, 并对湖水进行了藻类增长潜力试验。研究结果表明, 西湖主要湖区叶绿素 a 含量总体保持在同一水平, 年变化在 41.16-191.26mg/m³ 之间, 年均值为 99.98mg/m³。叶绿素 a 含量有明显的季节变化特征, 夏季和初秋为高峰, 冬季最低。水体总磷浓度与叶绿素 a 年周期动态变化一致, 叶绿素 a 含量的季节变化与水温变化呈显著正相关。西湖为典型的蓝藻型湖泊, 总氮年均值为 2.08mg/L, 总磷年均值为 0.121mg/L, N:P 大于 17, 水体中磷对藻类增长的促进作用比氮更为明显。

关键词 西湖 叶绿素 a 藻类 生态因子 周年动态变化 藻类增长潜力试验

分类号 P343.3/Q949.2

杭州西湖是世界闻名的旅游湖泊, 湖水面积 5.6km², 平均水深 1.56m。由于长期富营养化, 使其游览观光价值受到严重影响。浮游植物的大量繁殖是富营养化水体的重要标志, 也是造成危害的主要原因。叶绿素 a 是浮游植物现存量的重要指标^[1], 水体叶绿素 a 含量的高低能够反映水体的营养状况。因此, 叶绿素 a 常作为湖泊富营养化调查一个主要参数, 并且在水体富营养状况评价中起关键性作用。藻类增长潜力试验 (AGP 试验), 作为确定水体藻类生长限制因子的一种生物测试方法, 为水体富营养化防治提供科学依据。本文根据 1999 年度西湖主要湖区的监测资料, 对西湖叶绿素 a 含量的时空变化规律及生态因子对叶绿素 a 含量的影响进行了分析, 并通过 AGP 试验, 全面分析了营养盐与藻类生长之间的相互关系。

1 研究方法

1.1 采样点的布置及方法

根据西湖的自然环境和地理特点, 主要湖区设 3 个监测点位 (图 1), 每月采样 1 次, 用 2.5 L 有机玻璃采水器采取水样, 并于 2h 内送实验室分析。

1.2 叶绿素 a 的测定

取适量水样, 用英国 Whatman GF/C 滤膜抽滤, 低温冷冻干燥后, 用 90% 丙酮在低温下萃取。萃取液 3500r·min 离心 20min, 取上清液测定其光密度。实验方法和计算按规范^[2,3]进行。

1.3 AGP 试验 (藻类生长潜力试验)

藻种为中科院武汉水生生物研究所提供的小球藻 (*Chlorella pyrenoidosa* chick)。AGP 试

* 收稿日期: 2000-08-28; 收到修改稿日期: 2001-01-12。吴洁, 女, 1961 年生, 高级工程师。

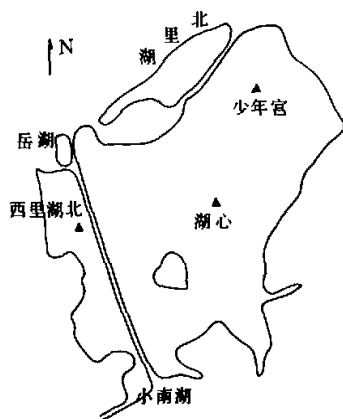


图1 西湖采样点示意图

Fig.1 Sampling stations in West Lake

验方法按文献^[4]进行. 西湖水用孔径为 $0.45\mu\text{m}$ 的滤膜抽滤 2 次, 作为试验用湖水. 测试样设计为 5 组:

- ①完全人工培养液(配方成份见文献^[4]);
- ②湖水 + $0.050\text{mg(P)}/\text{L}$;
- ③湖水 + $0.750\text{mg(N)}/\text{L}$;
- ④湖水 + $0.050\text{mg(P)}/\text{L}$ + $0.750\text{mg(N)}/\text{L}$;
- ⑤100%湖水对照组.

在 500mL 锥形瓶中, 各加入 5 组试验液 100mL (各组设三个重复), 分别接种藻种母液 1mL, 置于 25°C , 光照 4000lx , 光/暗比为 12/12h 的振荡培养箱中培养. 试验液小球藻初始接种密度为 $10 \times 10^3 \text{cell}/\text{mL}$. 试验共进行 7d, 逐日测定试验液中藻类密度, 用其代表藻类的生长情况.

1.4 水质其他理化指标的监测

按规定的分析方法^[5]进行.

2 结果与讨论

2.1 叶绿素 a 的空间分布与季节变化

根据 1999 年逐月测定的结果(图 2), 三个湖区叶绿素 a 含量大体保持在同一水平. 西里湖叶绿素 a 年均值为 $101.62\text{mg}/\text{m}^3$, 湖心为 $100.28\text{mg}/\text{m}^3$, 少年宫为 $98.03\text{mg}/\text{m}^3$, 年变动范围在 $41.16 - 191.26\text{mg}/\text{m}^3$. 各湖区叶绿素 a 含量存在明显的季节变化, 其共同特点是盛夏和初秋形成高峰, 冬季为全年最低.

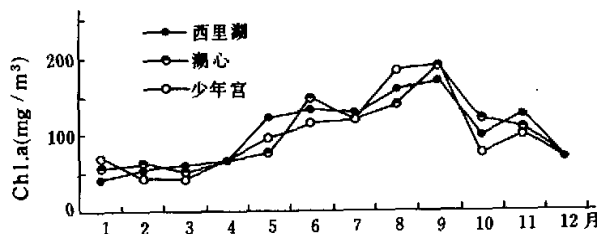


图2 西湖主要湖区 Chla 含量的周年变化

Fig.2 The annual fluctuations of Chl.a in main areas of West Lake

2.2 叶绿素 a 含量的变化与环境生态因子的关系

浮游植物种类、数量受光照、水温、氮、磷含量等环境因子的制约, 因此, 叶绿素 a 含量也同样受上述生态因子的影响^[6-9].

2.2.1 水体总氮、总磷浓度对叶绿素 a 含量的影响 氮、磷是藻类生长的必需营养物质,对藻类生长繁殖起着十分重要的作用。西湖水体总氮、总磷浓度非常高,从年均值来看,各湖区的差异不大。总氮年均 2.08mg/L ,总磷年均 0.121mg/L ,Chl. a 年均 99.98mg/m^3 ,均高于国际上一般标准的富营养型湖泊的浓度(水体中 Chl. a $>10.0\text{mg/m}^3$, TN $>0.20\text{mg/L}$, TP $>0.02\text{mg/L}$,即为富营养化水体)^[10]。西湖的 TN、TP 均比国际上一般标准高出 10 倍以上。叶绿素 a 含量即使在冬季也高达 58.73mg/m^3 ,呈现出水体极度富营养的状况。通过对主体湖各月叶绿素 a 均值和总磷均值的相关分析,表明总磷和叶绿素 a 的年周期动态变化一致(图 3),叶绿素 a 与总磷呈显著正相关($r=0.756$, Chl. a $=0.001\text{ TP}+0.0282$)(9 月份例外)。说明了西湖藻类生产力的提高与磷负荷增加有相当的内在联系。

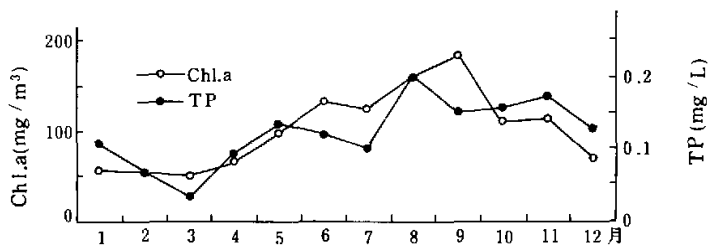


图 3 西湖 Chl. a 与 TP 的周年变化

Fig. 3 The annual fluctuations of Chl. a and TP in West Lake

9 月份总磷和叶绿素 a 不呈正相关,可能和西湖监测时间与钱塘江引水入湖冲污时间相隔太近有关。钱塘江引水口总磷含量在 $0.058-0.111\text{mg/L}$,年均值为 0.081mg/L ,仅为西湖的 50%左右。在连续引水的情况下,西湖水体总磷含量的下降很明显。但引水效果维持不长,停水 7d 后,由于底泥内源作用所致,湖水总磷浓度几乎恢复到原来水平。

从西湖主要湖区的总氮含量周年变化(图 4)可知,总氮季节变化不明显,经相关分析表明总氮与叶绿素 a 相关不显著。这说明西湖氮浓度在一定范围内变化对藻类生长影响不大。湖泊水体氮、磷浓度比值与藻类增殖有密切关系,一般认为藻类正常代谢所需 N:P 约为 7:1,当 N:P 小于 7 时,氮是可能的限制性营养盐,反之, N:P 大于 7 时,则磷是可能的限制性营养盐^[10]。但不同藻类所需最适氮磷比也有所不同,由于某些蓝藻自身具有固氮能力,在富营养化水体中,蓝藻大量繁殖需要相对丰富的磷。西湖是典型的蓝藻型湖泊,全年蓝藻占浮游植物总量的 76.5%,夏、秋季高达 87.8%,即使在冬季也达 61.8%。1981-1999 年间,常年优势种为蓝藻门的水花束丝藻(*Aphanizommon flos-aquae*),微小平裂藻(*Merismopedia cenuissima*),弯曲尖头藻(*Raphidiopsis curvata*)^[11-14]及 1995 年来水体中大量出现的一种非常纤细的颤藻(*Oscillatoria* sp.)。西湖水体 N:P 大于 17,对水体中占绝对优势的蓝藻而言,磷的含量与其增殖密切相关,说明磷控制着藻类的增殖,西湖属于磷控制型富营养湖泊,这与裴洪平等^[15]的研究相吻合。

2.2.2 水温、光照对叶绿素 a 含量变化的影响 温度直接影响藻类的生长和繁殖。西湖叶绿

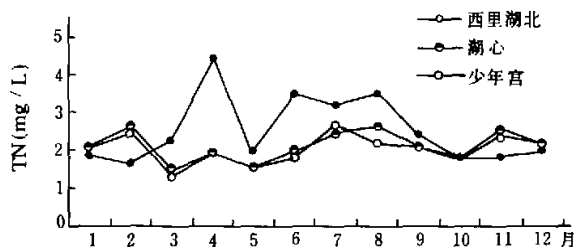


图 4 西湖主要湖区 TN 含量周年变化

Fig. 4 The annual fluctuations of TN in main areas of West Lake

素 a 含量的季节变化与水温季节变化(图 5)呈显著正相关($r=0.927$, $\text{Chl. a}=0.1817T+0.9525$). 冬季水温低(小于 10°C), 光照弱, 不适宜藻类的生长繁殖, 故叶绿素 a 在冬季为全年最低. 春季水温逐渐回升, 西湖大多为生长迅速的小型蓝藻, 藻类的生长繁殖渐趋旺盛. 蓝藻为喜温性藻种, 在夏季和初秋高温季节, 水温持续在 $25-32^{\circ}\text{C}$ 之间, 最适宜蓝藻的生长繁殖, 致使蓝藻大量繁衍, 从而形成叶绿素 a 的夏、秋季高峰. 1999 年全年水温最高的月份为 9 月, 水温达 31.1°C , 叶绿素 a 含量也在 9 月份形成全年之冠, 达 $183.13\text{mg}/\text{m}^3$. 对照 1998 年监测数据, 全年水温最高为 7 月, 达 33.1°C , 叶绿素 a 含量也在 7 月份达到全年最高值 $198\text{mg}/\text{m}^3$. 11 月份以后, 随着水温的下降, 叶绿素 a 含量也逐渐下降.

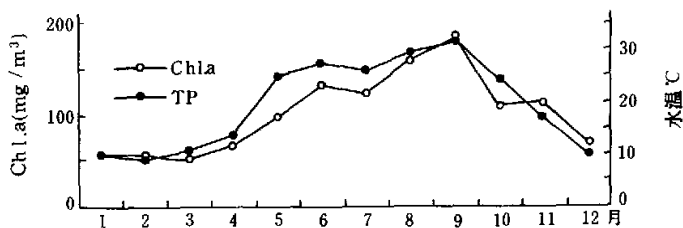


图 5 西湖湖区 Chl. a 与水温的周年变化

Fig. 5 The annual fluctuations of Chl. a and temperature in West Lake

杭州地处亚热带, 四季分明, 光照也是西湖藻类生长的重要影响因子之一. 春季阴雨天数多, 日照时间短, 秋季雨水少, 日照时间长, 由于水温和光照的影响, 使得秋季叶绿素 a 明显高于春季.

2.3 AGP 试验结果

AGP 试验可确定水体主要限制或刺激藻类增长的营养物质. 从西湖湖水藻类生长潜力测试结果(图 6)可知, 添加营养盐后藻类最大现存量与原 100% 湖水的现存量有显著差异, 100% 湖水组的藻类生长量始终明显低于任何添加营养盐的试验组. 氮、磷元素的混合添加比单独添加对藻类的促进作用明显, 单独添加磷对藻类促进作用比单独添加氮明显. 从整个测试结果看, 在一定的氮磷浓度范围内, 藻类最大现存量与氮磷浓度呈正相关. 当氮磷比大于 16 时, 其

中磷对藻类的促进作用比氮更为明显. 实验结果说明了可溶性磷和无机氮在一定含量下才对藻类生长有明显促进作用, 同时说明可溶性磷是西湖水体主要限制性营养盐.

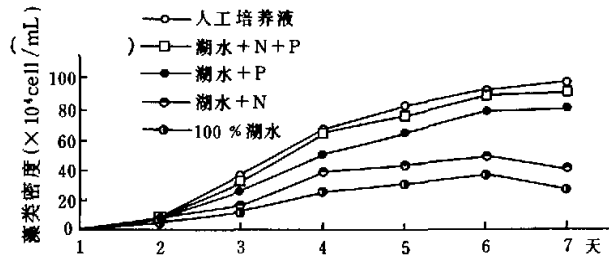


图 6 西湖湖水藻类生长潜力试验

Fig. 6 AGP test in water from West Lake, Hangzhou

3 结语

西湖水体主要湖区叶绿素 a 含量总体保持在同一水平, 年变化在 $41.16 - 191.26 \text{ mg/m}^3$, 年均值为 99.98 mg/m^3 . 各湖区叶绿素 a 有明显的季节变化特征, 盛夏和初秋为高峰期, 冬季为低谷, 水体总磷浓度与叶绿素 a 年周期动态变化一致, 叶绿素 a 含量的变化与水温变化呈显著正相关.

西湖为典型的蓝藻型富营养湖泊, 水体总氮年均值 2.08 mg/L , 总磷年均值 0.121 mg/L , N:P 大于 17, 从 AGP 试验结果得出, 西湖水体中磷对藻类增长的促进作用比氮更为明显.

参 考 文 献

- 1 Reynolds C S. The ecology of fresh water phytoplankton. London: Cambridge Univ Press, 1984
- 2 国家环保局《水生生物监测手册》编委会编. 水生生物监测手册. 南京: 东南大学出版社, 1993
- 3 American Public Health Association. Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater. 15th ed. New York. 1980
- 4 金相灿等. 湖泊富营养化调查规范(第二版). 北京: 中国环境科学出版社. 1990
- 5 国家环保局编委会. 水和废水监测分析方法(第三版). 北京: 中国环境科学出版社. 1989
- 6 沈福芬、章宗涉等. 微型生物监测新技术. 北京: 中国建筑工业出版社. 1990
- 7 Eugene P Odum 著. 孙儒泳等译. 生态学基础. 北京: 人民教育出版社. 1981
- 8 刘建康等. 高级水生生物学. 北京: 科学出版社. 1999
- 9 高玉荣. 北京四海浮游藻类叶绿素含量与水体营养水平的研究. 水生生物学报. 1992, 16(3): 237 - 244
- 10 金相灿等. 中国湖泊富营养化. 北京: 中国环境科学出版社. 1990
- 11 项斯端. 杭州西湖的浮游蓝藻群落及其类型. 杭州大学学报, 1983, 10(增刊): 75 - 87
- 12 项斯端. 杭州西湖的浮游藻种的调查. 杭州大学学报, 1983, 10(增刊): 95 - 102
- 13 朱报海等. 杭州西湖初步治理后的浮游植物现状. 水生生物学报, 1991, 15(2): 137 - 144
- 14 陆开宏等. 杭州西湖引流冲污前后浮游藻类变化及防治富营养化效果评价. 应用生态学报, 1992, 3(3): 266 - 272
- 15 裴洪平等. 杭州西湖藻类动态模型研究. 水生生物学报, 2000, 24(2): 143 - 149

The Annual Fluctuation of Chlorophyll-a and the Algal Growth Potential Test in West Lake, Hangzhou

WU Jie¹ QIAN Tianming¹ YU Zuoming²

(1: Hangzhou Environmental Monitoring Center, Hangzhou 310007, P. R. China;

2: Environmental Protection Institute of Hangzhou, Hangzhou 310005, P. R. China)

Abstract

The annual fluctuation of chlorophyll-a concentrations and some chemical indicators were measured in the main areas of West Lake, Hangzhou during January-December 1999. The algal growth potential test in water from West Lake were made. The relations between the chlorophyll-a concentrations and various ecological factors were discussed. The experimental results are as follows. The concentrations of chlorophyll-a in main Lake-areas appear in the same level. The range was 41.16 - 191.26mg/m³ and the annual average concentration was 99.98mg/m³. The concentrations of chlorophyll-a showed marked seasonal variation the highest in summer and early autumn and the lowest in winter. The concentration of chlorophyll-a has close relation with water temperature and TP. The West Lake is a typical Cyanophyta-pattern lake in which the annual average concentrations of TN and TP were 2.08mg/L and 0.121mg/L respectively. The ratio of TN to TP is more than 17 in West Lake, indicating TP's domination in the stimulation of algal growth.

Key Words West Lake(Hangzhou), Chlorophyll-a, algal, ecological factors, annual fluctuation, algal growth potential test