

## 从叶绿素 a 的变化浅析西湖综合保护工程效益(1998–2007 年)\*

邓开宇<sup>1,2</sup>, 吴芝瑛<sup>2</sup>, 张国亮<sup>1\*\*</sup>, 徐 骏<sup>2</sup>, 杨 剑<sup>2</sup>, 毛益民<sup>2</sup>, 蒋华兵<sup>1</sup>

(1: 浙江工业大学生物与环境工程学院, 杭州 310014)

(2: 杭州市西湖水域管理处, 杭州 310002)

**摘 要:** 自 1998 年以来, 杭州市政府先后实施了西湖疏浚、湖西综合保护、引配水改建等几项主要治理工程, 西湖周边的环境质量得到了明显提高. 对 1998–2007 年间杭州西湖主要湖区叶绿素 a 的含量进行了跟踪监测分析与研究, 结果表明, 西湖主要湖区年均叶绿素 a 含量比治理工程实施前明显下降, 且下降幅度可达 42.8%–87.3%. 西湖综合保护工程的实施对改善西湖的水质起了主要的作用.

**关键词:** 西湖; 叶绿素 a; 水质改善

## Benifits of the restoration projects on West Lake: evidence of chlorophyll-a change (1998–2007)

DENG Kaiyu<sup>1,2</sup>, WU Zhiying<sup>2</sup>, ZHANG Guoliang<sup>1</sup>, XU Jun<sup>2</sup>, YANG Jian<sup>2</sup>, MAO Yimin<sup>2</sup> & JIANG Huabing<sup>1</sup>

(1: *College of Biological and Environmental Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, P.R.China*)

(2: *Hangzhou West Lake Management Office, Hangzhou 310002, P.R.China*)

**Abstract:** Water quality of West Lake has been greatly improved after implementation of lake restoration projects, such as sediment dredging, wetland reconstructing and water freshening supported by Hangzhou Municipal Government since 1998. Based on continuous data analysis of chlorophyll-a concentrations in West Lake from 1998 to 2007, the chlorophyll-a concentrations in main area of West Lake in 2007 decreased by a range from 42.8% to 87.3% compared with those in 1998. The results showed that the restoration projects played a major role in water quality improvement of West Lake.

**Keywords:** West Lake; chlorophyll-a; water quality improvement

杭州西湖是世界著名的风景旅游湖泊, 湖水面积 6.5km<sup>2</sup>, 平均水深 2.27m. 西湖水质的改善和环境的保护一直以来就倍受社会各界和政府的关注. 目前, 无论发达国家还是发展中国家, 水体富营养化已经成为江河、湖泊、水库等水体的主要环境问题<sup>[1]</sup>. 以前由于西湖流域工农业污水和生活污水的排入, 以及西湖周边日益增多的游客, 使得西湖长期处于富营养化状态, 并且严重影响其游览观光价值.

### 1 西湖综合保护工程概况

杭州政府一直重视西湖的保护和治理. 近年来, 政府投入了大量资金用于西湖及其流域环境的整治与保护. 如西湖疏浚工程、西湖湖西综合保护工程和引配水改建工程等.

#### 1.1 西湖疏浚工程

西湖疏浚工程(1999–2003 年), 前后历时 4 年分为两期完成. 两期共完成疏浚量 346.9×10<sup>4</sup>m<sup>3</sup> (水下方), 疏挖面积达 5.54km<sup>2</sup>, 平均水深从疏浚前的 1.65m 加深到 2.27m, 有效降低了营养内负荷, 削弱了西湖水

\* 国家自然科学基金(20776133)项目资助. 2008–08–04 收稿; 2008–10–24 收修改稿. 邓开宇, 男, 1978 生, 硕士, 工程师; E-mail: deng\_kaiyu@126.com.

\*\* 通讯作者; E-mail: guoliangz@zjut.edu.cn.

体富含营养盐的沉积物. 西湖沉积物中营养物质含量非常高, 有机质含量为 24.95%–68.7%, 总氮含量为 0.933%–1.264%, 总磷含量为 0.375%–0.416%, 清除沉积物已成为控制西湖富营养化的重要途径之一<sup>[2]</sup>.

### 1.2 西湖湖西综合保护工程

西湖湖西综合保护工程(2002 年 10 至 2003 年 9 月), 工程外迁住户和单位 1000 多户/家, 开挖外运土方超过  $180 \times 10^4 \text{m}^3$ , 新增湖面近  $90 \times 10^4 \text{m}^2$ , 使西湖面积由原来的  $5.67 \text{km}^2$  加大到  $6.38 \text{km}^2$ , 并且在湖西生态湿地区域种植水生植物近 66 种, 100 多万株<sup>[3]</sup>.

### 1.3 西湖引配水改建工程

为了从根本上改善西湖的水质, 作为西湖湖西综合保护工程的配套建设工程——西湖引配水改建工程(2003 年 2–9 月). 该工程新建了玉皇山沉淀池, 并改造了钱塘江引水泵站和赤山埠水厂. 使引入的钱塘江水经脱磷降浊后进入西湖. 沉淀池的设计处理量为  $40 \times 10^4 \text{t/d}$  (其中玉皇山沉淀池  $30 \times 10^4 \text{t/d}$ , 赤山埠沉淀池  $10 \times 10^4 \text{t/d}$ ), 处理后的水经配水管网流入小南湖  $30 \times 10^4 \text{t/d}$ 、浴鹄湾  $2 \times 10^4 \text{t/d}$ 、乌龟潭  $3 \times 10^4 \text{t/d}$  和茅乡水情  $5 \times 10^4 \text{t/d}$ , 全年引水  $1.2 \times 10^8 \text{m}^3$ . 为了加大西湖水的循环速度, 西湖出水口也由原来的 3 个增加到 6 个. 目前西湖的湖水已基本实现一月一换.

## 2 叶绿素 a 的监测与分析方法

叶绿素 a 是绿色植物的一种光合色素, 它是所有藻类重要的组成成分之一, 因此叶绿素 a 是水中浮游植物现存量的重要指标<sup>[4]</sup>, 水体中叶绿素 a 含量的高低与该水体中藻类的种类、数量等密切相关, 也与环境水质有关, 一般能反映出水体的富营养状况<sup>[5-6]</sup>. 而通过测定叶绿素 a 含量能够在一定程度上反映水质状况<sup>[7-8]</sup>. 因此, 叶绿素 a 常作为湖泊富营养化调查的主要参数, 并且在水体富营养状况评价中起关键性作用<sup>[9]</sup>.

### 2.1 采样点设置

西里湖、小南湖和北里湖各设一个采样点, 外湖区设少年宫和湖心 2 个采样点(图 1)(其中湖心、少年宫和西里湖是国控点). 1998–2007 年每月一次对上述采样点进行采样和水质监测, 包括叶绿素 a 和其它水质理化指标.

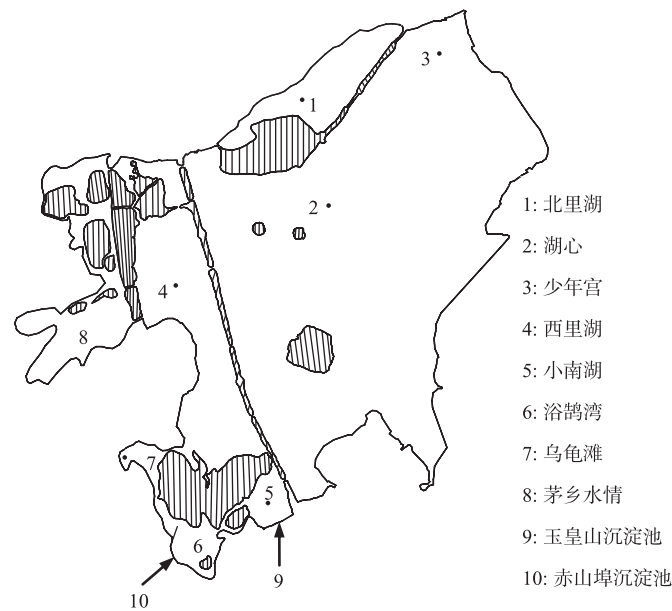


图1 西湖采样站位示意图

Fig.1 Sampling sites of West Lake

### 2.2 分析方法

叶绿素 a 浓度的测定: 采用国家环境保护总局颁发的《水和废水检测分析方法(第四版)》(2002 年)

方法, 取 250–500ml 体积不等的水样, 经醋酸纤维素微孔滤膜(0.45 $\mu$ m 孔径)抽滤后, 置于-20 $^{\circ}$ C 低温冷冻保存. 采用 90%丙酮溶液研磨, 萃取叶绿素 a, 以 3500r/min 速度离心 10min, 取上清液 10ml, 用 1cm 石英比色皿在 750nm、663nm、645nm、630nm 处测定其吸光度, 即可计算出叶绿素 a 浓度; 水温采用温度测验仪器现场测定; 总氮、总磷按国家规定的标准检验方法(GB7479)在实验室予以测定.

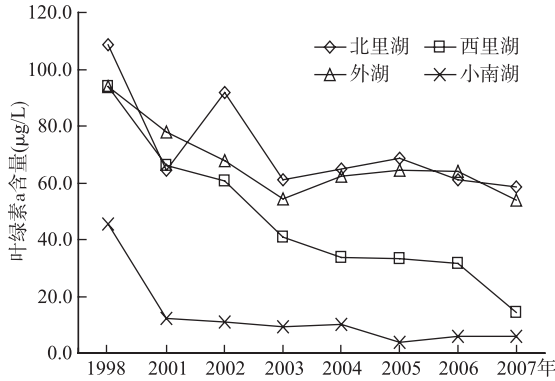


图 2 近年来各湖区的叶绿素 a 变化  
Fig.2 Chl.a variation of West Lake areas  
in recent years

上; 近 10 年来, 西湖各湖区叶绿素 a 的含量总体呈下降趋势, 浮游植物现存量明显减少, 其中小南湖和西里湖下降幅度最大, 外湖和北里湖也有较大的降幅, 同时各湖区的透明度也有了大幅度的升高(图 2). 检测数据分析表明西湖水质已经有了较大地改善, 与西湖近年来的几项治理工程是密不可分的.

### 3.2 西湖叶绿素 a 含量月度的变化

据有关资料显示, 水温的升高, 可以促进藻类的生长繁殖, 尤其在 20–35 $^{\circ}$ C 范围内, 生物量除随水温升高有较大增加, 且藻类多样性指数有所下降, 优势种突出. 根据西湖以往十几年的水质变化情况, 西湖水温与叶绿素 a 的变化密切相关. 经过研究分析, 蓝藻是西湖里的优势种.

2007 年是西湖水体的内外环境因素变化最为复杂的一年. 2007 年夏季遭遇了 50 年一遇的高温干旱, 西湖的水温也大幅上升, 年平均水温达到 19.7 $^{\circ}$ C, 比 1998 年升高了 0.9 $^{\circ}$ C, 创近年来的新高. 但根据全年水质检测数据分析, 该年夏天的持续高温并没有给西湖水质造成明显的影响, 从另一方面也可以确定治理工程对西湖水质的改善起着重要作用, 并且大大增强了西湖对付复杂气候环境带来影响的“抵抗力”.

西湖叶绿素 a 的月度变化趋势也与水温的变化趋势基本吻合. 在 5 月份水温逐步上升后, 5–10 月份, 水温平均值都超过了 20 $^{\circ}$ C, 叶绿素 a 含量也随水温同步升高, 并在 7 月份达到峰值, 后又随水温下降而逐月下降(图 3–图 6). 7 月份的水温日均值都超过了 30 $^{\circ}$ C, 造成的结果: 少年宫 7 月份叶绿素 a 含量比 6 月份增加了 115%, 比 8 月份增加了 33.3%; 外湖 7 月份叶绿素 a 含量比 6 月份增加了 100%, 比 8 月份增加了 42.9%(图 4, 图 5). 2007 年 7 月份, 造成西湖外湖叶绿素 a 含量比 98 年的同期值还要高 8.11% 的原因主要是由于该时期西湖水温的升高, 使水体溶解氧有较大的下降, 加剧了水生微生物分解湖泊中沉积动植物残体的活动, 同时也加剧了厌氧性微生物的生长和繁殖, 两者加快了西湖中有机物的氮、磷分解速度, 使藻类生长繁殖有了更多的营养物质, 促进藻类大量生长. 尽管 7 月份外湖叶绿素 a 含量出现了一个峰值, 但随着水温的下降, 叶绿素 a 含量也迅速下降, 降幅也在 30% 以上, 这也说明了西湖水体更能应对复杂环境因素的变化, 较工程前有了较大的改善.

### 3.3 西湖叶绿素 a 含量空间的变化

总体来说, 西湖西部的水质要优于东部. 钱塘江水经过两个沉淀池处理过后, 透明度在 120cm 以上, 均未检出叶绿素 a 的含量. 小南湖因靠近西湖最大的引水口——玉皇山沉淀池, 因此, 小南湖叶绿素 a 的含量是西湖中最低的, 近 5 年来的年均含量只有 7.0 $\mu$ g/L(图 2), 并保持在一个较为稳定的状态中. 西里湖

## 3 结果与分析

### 3.1 西湖叶绿素 a 含量年度的变化

从 1999 年西湖疏浚工程开始后, 西湖主要湖区的叶绿素 a 都显著呈下降趋势(图 2). 其中, 以 2007 年与 1998 年西湖叶绿素 a 含量和透明度的数据对比为例, 2007 年外湖叶绿素 a 的年均含量为 53.8 $\mu$ g/L, 透明度平均值为 66.2cm, 分别比 1998 年下降了 42.8%, 升高了 23cm; 北里湖叶绿素 a 的年均含量为 58.4 $\mu$ g/L, 比 1998 年降低了 46.2%; 西里湖叶绿素 a 的年均含量为 14.4 $\mu$ g/L, 透明度平均值为 130.4cm, 分别比 1998 年降低了 84.6%, 升高了近 84.5cm; 小南湖叶绿素 a 的年均含量为 5.8 $\mu$ g/L, 比 1998 年降低了 87.3%, 而透明度全年均在 200cm 以上;

则由于湖区较小, 又有近  $10^5\text{m}^3/\text{d}$  的净水输入, 湖水稀释叶绿素 a 的作用明显, 全年均低于  $30\mu\text{g}/\text{L}$ , 且波动平缓, 较为稳定. 北里湖则由于该湖区距引水口较远, 出水口较小, 水流缓慢, 湖水稀释作用相对差一点, 造成该湖区的叶绿素 a 含量高于其他湖区, 近 5 年的年均含量平均值达到了  $62.8\mu\text{g}/\text{L}$ . 外湖由于湖面面积、库容较大, 边界线较为复杂, 反而受引水作用较小, 叶绿素 a 含量逐月波动较大, 近 5 年的年均含量平均值在  $60\mu\text{g}/\text{L}$  上下波动. 少年宫尽管离西湖的引水口最远, 但因为离最大的出水口(圣塘闸)最近, 水流速度较快, 该点的叶绿素 a 含量与外湖相近, 居于整个西湖的中间值, 近 5 年的年均含量平均值为  $59.9\mu\text{g}/\text{L}$ . 2007 年西湖全年引水量达到  $1.2\times 10^8\text{m}^3$ , 为 1998 年引水量的 3 倍. 从检测数据分析, 大量净水的引入对整个西湖藻类浓度的稀释作用——降低叶绿素 a 的含量是比较直接和显著的.

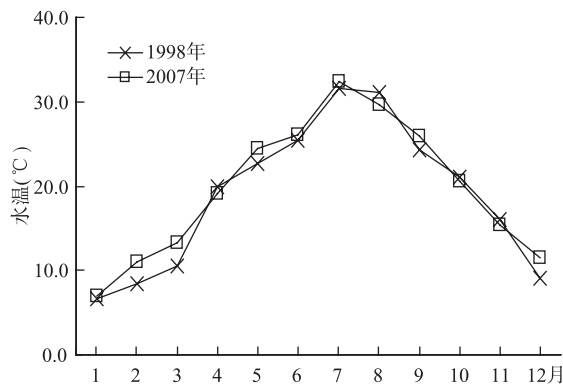


图 3 1998 和 2007 年西湖水温变化  
Fig.3 Temperature variation of West Lake in 1998 and 2007

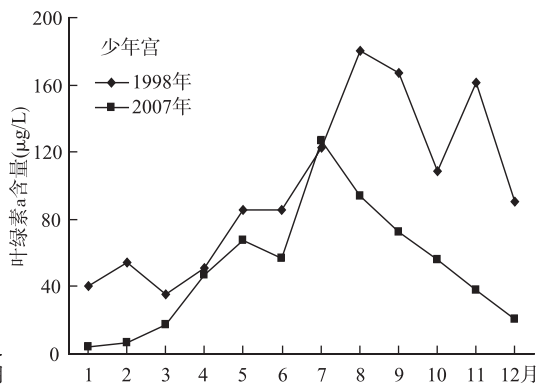


图 4 1998 和 2007 年少年宫叶绿素变化  
Fig.4 Chl.a variation of Children's palace in 1998 and 2007

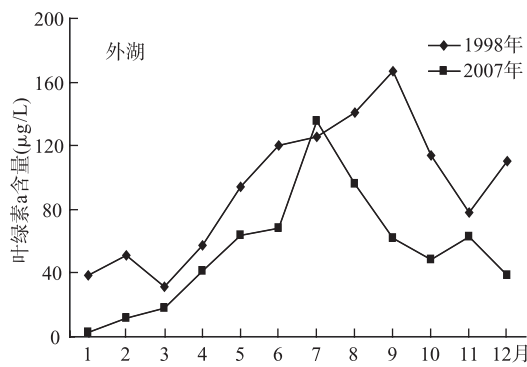


图 5 1998 和 2007 年外湖叶绿素变化  
Fig.5 Chl.a variation of main Lake in 1998 and 2007

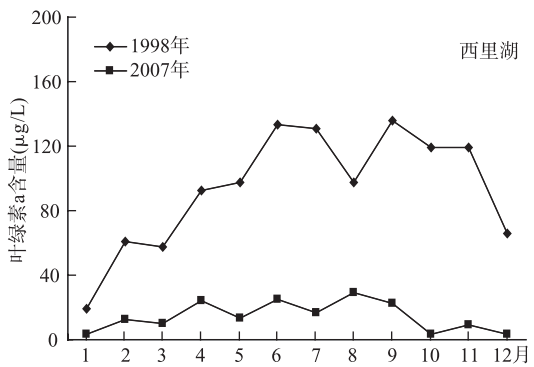


图 6 1998 和 2007 年西里湖叶绿素变化  
Fig.6 Chl.a variation of Lake Xili in 1998 and 2007

#### 4 结语

综合保护工程前, 西湖长期处于富营养化状态. 近 10 年监测数据分析可以看出, 经过西湖综合保护工程后, 西湖及其流域的生态环境得到了很大得修复和改善, 西湖沿线的工矿企业、单位和居住点的污水已经截污纳管或经生态处理后流入西湖, 外源性的营养物质(N、P)逐年减少. 西湖经过这几年的保护, 水质已从重度富营养化转为中度富营养化. 主湖区和湖西的水生动植物种类和数量也日趋增多, 生态系统也逐渐多样化. 此外, 根据目前的检测数据分析, 西湖的总体水质情况也明显好于治理工程前, 表明

大量净水的引入通过对营养盐浓度和藻类的稀释作用直接或间接地改善了西湖的水质。但是由于西湖各湖区的地理形态、引水流场、水体库容量和滞留时间存在较大差异,且引水受到钱塘江咸潮的影响而造成引水时间和空间分配不均匀,因此,湖西湿地的水生植物对整个西湖的水体自净作用受到一定的限制。今后在对西湖的保护和管理方面,应根据西湖的实际地理形态、引水流场等因素,在确保  $1.2 \times 10^8 \text{m}^3$  的引水量的同时,要尽量合理、均匀地分配引水量,并进一步探索适合外湖区域生长的水生植物,使西湖各湖区的水质能稳定和持续地得以改善,从而彻底改变西湖水质目前的现状<sup>[10]</sup>。

## 5 参考文献

- [1] Monzur Alam Imteaz, Takashi Asaeda, David A, Lockington. Modelling the effects of inflow parameters on lake water quality. Environmental modeling and assessment. Netherland: Kluwer Academic Publishers, 2003: 63-70.
- [2] 吴芝瑛, 虞左明, 盛海燕等. 杭州西湖底泥疏浚工程的生态效应. 湖泊科学, 2008, 20(3): 277-284.
- [3] 杨小茹. 自然与人文的交融——探索杭州西湖风景名胜区可持续发展的保护整治之路. 中国园林, 2008, 3: 29-38.
- [4] Reynokds CS. The ecology of fresh water phytoplankton. London: Cambridge University Press, 1984.
- [5] 汪财生, 李共国. 疏浚后杭州西湖的桡足类. 湖泊科学, 2006, 18(6): 643-648.
- [6] 李共国, 吴芝瑛, 虞左明. 引水和疏浚工程支配下杭州西湖浮游动物的群落变化. 生态学报, 2006, 26(10): 3508-3515.
- [7] 宋开山, 张 柏, 王宗明等. 吉林查干湖水体叶绿素 a 含量高光谱模型研究. 湖泊科学, 2007, 19(3): 275-282.
- [8] 刘冬燕, 宋永昌, 陈德辉. 苏州河叶绿素 a 动态特征及其与环境因子的关联分析. 上海环境科学, 2003, 23(2): 261-264.
- [9] 吴 洁, 钱天鸣, 虞左明. 西湖叶绿素周年动态变化及藻类增长潜力试验. 湖泊科学, 2001, 13(2): 143-147.
- [10] 国家环境保护总局. 2007 中国环境状况公报, 2008.