

杭州西湖初步治理后的浮游植物现状¹⁾

朱根海 宁修仁

(国家海洋局第二海洋研究所, 杭州 310012)

提 要

本文记录了杭州西湖初步治理后的浮游植物种类组成、相似性、数量分布与环境理化因子的关系,以及根据指示种类评价了西湖水质。在1985年2月至1986年2月周年调查的20个站位中,共鉴定了浮游植物7门92属229种、变种和变型;其中蓝藻门19属39种;绿藻门35属87种8变种1变型;硅藻门24属54种7变种1变型等。西湖浮游植物的数量分布以外湖最高,年均值为 529.1×10^3 个/L,三潭内湖最低,仅 1.76×10^2 个/L。全湖每升水样含浮游植物细胞密度年均值为 614×10^3 个,并且以蓝藻占绝对优势,年均值为 423×10^3 个/L,绿藻、硅藻次之,分别为 97.3×10^3 个/L和 77×10^3 个/L。不同站位浮游植物种类组成的相似性指数值(Sorensen公式)在51.3—85.3范围。

关键词 浮游植物,相似性指数,西湖

西湖是驰名中外的风景游览性湖泊,位于杭州市区西部,一面濒临市区,三面群山环抱,5.66km²的湖体被苏堤和白堤等分隔成六个湖区——外西湖(主体湖)、北里湖、西里湖、岳湖、小南湖和三潭印月内湖,各湖区水体藉桥洞相互沟通。关于西湖的浮游植物,在西湖治理前已作过调查研究^[3,4]。从1981年开始,进行整修湖岸,截污、环湖埋设近10km的污水截流管道,制止污物、污水不再排入西湖;疏浚、清除湖底污泥5万余立方米,增大蓄水量两倍多;平均每天打捞湖面废弃物200余公斤,减少了污物的沉积;用直流电机游船替代柴油机游船,防止油垢污染;从钱塘江引2000万吨清水入湖。最近几年,采取各种治理措施后,使湖内生态环境发生了变化,浮游植物群落结构也随之改变。自1985年2月至1986年2月,对西湖初步治理后的浮游植物和有关环境理化因子逐月进行了调查,共采集浮游植物样品260余号。

本文对西湖各湖区初步治理后的浮游植物种类组成、相似性、数量分布与环境理化因子的关系作了较为系统的研究,以及根据指示种类评价了西湖水质。

材 料 与 方 法

采样站位的分布(图1)。

1) 参加本工作的还有:史君贤、刘子琳、刘镇盛、陈忠元和杭州市西湖水域管理处李梅姿、夏建文等同志。
1988年4月27日收到。

采集后的浮游植物样品^[1,2],用戊二醛或中性福尔马林和甘油混合液保存于玻璃瓶中,硅藻样品还需用酸处理,然后制片、显微观察照相或直接在显微镜下进行种类鉴定,定性、定量分析,每个水样计数3个整片,取其平均值,求出每升水体所含浮游植物细胞数(蓝藻以藻体为个)。比较各站位之间的相似性指数值 S ,采用 Sorensen 公式表示^[10]。

$$S = \frac{2C}{a+b} \times 100$$

式中 a 表示仅在测站样品 1 出现的种类; b 仅在另一测站样品出现的种类; C 两测站样品共同出现的种类。

结 果

1. 浮游植物的种类组成

对采集的 20 个站位 260 余号样品,经显微镜观察、鉴定,共发现浮游植物 7 门 92 属 229 种、变种和变型;其中蓝藻门 19 属 39 种(占 17.03%);绿藻门 35 属 87 种 8 变种 1 变型(占 41.92%);硅藻门 24 属 54 种 7 变种 1 变型(占 27.07%);裸藻门 3 属 15 种(占 6.55%);金藻门 5 属 8 种(占 3.5%);甲藻门 4 属 6 种(占 2.62%);隐藻门 2 属 3 种(占 1.31%)。

浮游植物优势种类月变化(表 1)。

2. 浮游植物的数量和环境参数

西湖各湖区初步治理后浮游植物的数量分布,以外湖的密度最高,年均值在 529.12×10^5 个/L,三潭印月内湖最低,仅 1.77×10^5 个/L;环境参数的 pH 值、化学耗氧量(COD)和浊度也以外湖年均值为最大,三潭印月内湖最小(表 2)。

西湖初步治理后每升水样含浮游植物年均值为 614×10^5 个,并且以蓝藻占绝对优势,年均值为 423×10^5 个/L(占 68.9%);甲藻和隐藻的数量最低,年均值仅 0.76×10^5 个/L(占 0.12%)和 0.52×10^5 个/L(占 0.09%)(表 5)。

西湖浮游植物数量的月变化,各门藻类出现的峰值不同。蓝藻量的丰盛密度决定着全湖浮游植物的月变化,12 月份由水华束丝藻(*Aphanizomenon flosaquae*)形成高峰值,为 1800×10^5 个/L,占该月总量的 90.49%,10 月和 11 月由螺纽鞘丝藻(*Lyngbya comtorta*),弯曲尖头藻(*Raphidiopsis curvata*)水华束丝藻和大螺旋藻(*Spirulina major*)4 种形成次高峰,为 1004×10^5 — 873×10^5 个/L,蓝藻量 5—12 月几乎呈逐渐上升的趋势;浮游绿藻一年中出现两次峰值,5 月为全年最高值(172×10^5 个/L),8—12 月逐渐下降(166.8×10^5 — 117.2×10^5 个/L);浮游硅藻的周年变化中,5—12 月几乎是依次升

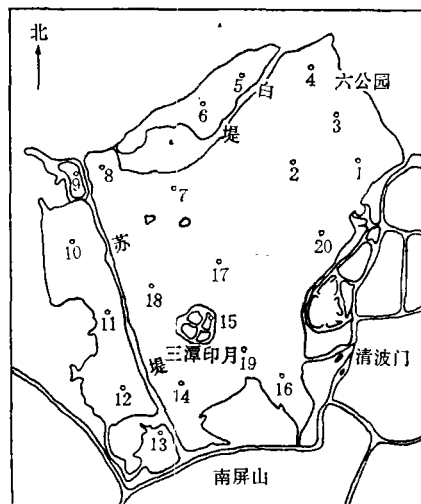


图 1 西湖采样点的分布

Fig. 1 Sampling stations

表 2 西湖各湖区浮游植物数量及其有关环境参数的年均值

Tab. 2 The annual mean phytoplankton density and environmental parameter values in different regions of the West Lake

值 Value 类别 Parameter	区域 Regions	外湖 ¹ Outer lake	北里湖 ² North inner lake	西里湖 ³ West inner lake	岳湖 ⁴ Yu lake	小南湖 ⁵ Lesser south lake	三潭内湖 ⁶ Santan inner lake
浮游植物 ($\times 10^5/L$)		529.12	55.36	17.22	5.88	4.54	1.77
水温($^{\circ}C$)		17.7	17.6	17.8	17.9	18.4	18.8
浊度		17.81	16.5	15.5	17.6	15.3	6.9
PH		8.75	8.71	8.35	8.41	8.18	7.35
COD (mg/L)		9.89	9.62	7.67	7.94	8.31	6.48
总磷 (mg/L)		0.11	0.13	0.11	0.14	0.11	0.06
总无机氮 (mg/L)		0.532	0.476	0.769	1.123	0.846	0.309
透明度 (cm)		54.2	54.4	60.1	53.6	57.4	见底

注: 1—6 表示西湖的 6 个湖区。

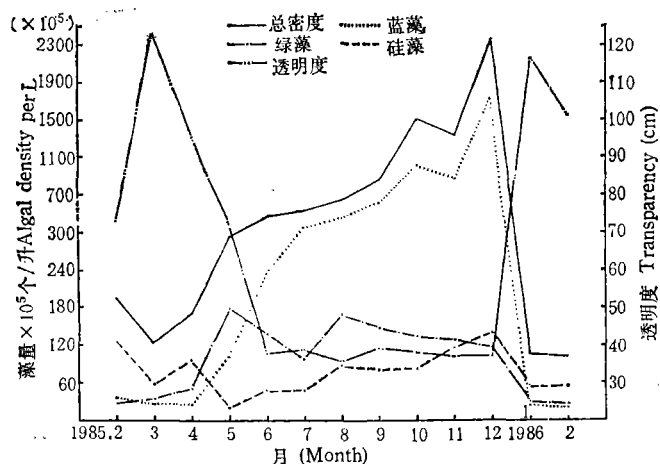


图 2 西湖浮游植物密度和透明度平均值的月变化

Fig. 2 Monthly variations in phytoplankton density and mean transparency in the West Lake

高 (20×10^5 — 137×10^5 个/L), 12 月为峰值。此外, 金藻门中的散歧锥囊藻 (*Dinobryon divergens*) 在 1986 年 2 月总量达 90×10^5 个/L (占年总量的 61.22%); 裸藻以 6—8 月出现为多, 总量达 6×10^5 — 13.4×10^5 个/L (占年总量的 54.55%); 浮游甲藻月变化无规律性; 隐藻主要出现在 7—8 月, 总量达 1.2×10^5 — 4.8×10^5 个/L (占年总量的 88.23%)。

浮游植物数量的月变化与环境理化因子的月变化密切相关, 浮游植物密度与透明度的月变化成负相关(图 2), 相关曲线为 $y = 1.327 - 0.220 \ln x$, 其中, x 代表浮游植物密度, y 代表透明度, 两者之间有非常显著的相关性, 相关系数为 -0.92。其它环境参数(表

表 3 西湖浮游植物密度和有关环境参数的月平均值

Tab. 3 Monthly variations in phytoplankton density and environmental parameter values in the West Lake

数 量 Number	年 月 Year Month	1985											1986	
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2
蓝藻 ($\times 10^3/L$)		34.6	25.1	26.6	100	231.6	311.6	446	597.6	1005	873.3	1800	24.4	22.8
绿藻 ($\times 10^3/L$)		28.6	33.8	47.7	172	134.4	96	166.8	146.2	134.7	129.9	117.2	30.4	27.2
硅藻 ($\times 10^3/L$)		123.5	56.8	94	19.8	46.4	47.6	84.4	82	84.3	115.9	137.1	54	55.2
水 深, (m)		1.58	1.59	1.67	1.56	1.46	1.53	1.58	1.6	1.52	1.58	1.55	1.6	1.58
水温($^{\circ}C$)		10.3	8.01	15.9	25.5	29.1	32.3	30.8	21.6	21.3	16.4	10.4	6.61	7.13
透明度 (cm)		73	122	95	72	37.3	38.4	35.4	39.6	37.9	36.8	37.3	117	101
pH		8.5	7.23	7.3	8.2	9.2	9.3	8.9	7.95	8.1	8.3	8.17	6.83	7.3
油 度		0.09	0.026	0.04	0.071	0.12	0.03	0.09	0.099	0.13	0.11	0.113	0.056	0.019
DO (mg/L)		6.51	7.235	9.1	10.58	9.7	8.7	11.3	7.89	7.82	12.1	10.6	10.36	13.74
COD (mg/L)		7.5	4.04	4.75	7.57	9.81	11.07	11.18	11.59	10.85	10.3	12.89	10.23	—
总磷 (mg/L)		0.101	0.043	0.062	0.121	0.102	0.148	0.184	0.151	0.145	0.099	0.109	0.084	—
总氮 (mg/L)		0.954	1.761	0.872	—	—	0.258	0.406	0.34	0.426	0.896	0.541	—	—
NH_4^+-N (mg/L)		0.191	0.055	0.021	0.013	0.07	0.068	0.046	0.046	0.0421	0.028	0.0678	0.059	0.127
$NO_3^- - N$ (mg/L)		0.031	0.047	0.037	—	—	0.006	0.083	0.0334	0.0165	0.046	0.0433	—	—
$NO_2^- - N$ (mg/L)		0.732	1.659	0.814	0.143	0.178	0.184	0.277	0.264	0.382	0.782	0.438	0.194	—

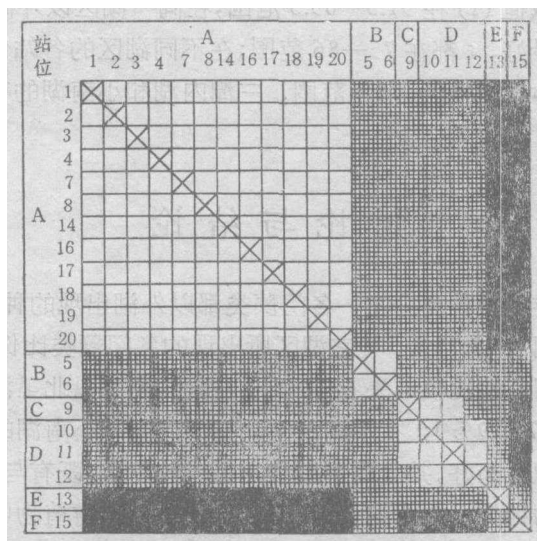


图3 各湖区不同站位浮游植物组成的相似性指数值

Fig. 3 Similarity indices in phytoplankton composition between different stations of the West Lake

指数值的范围 ■ 51—62 ▨ 63—74 □ 75—86

A 外西湖; B 北里湖; C 岳湖; D 西里湖; E 小南湖; F 三潭内湖

表4 不同湖区浮游植物的种类数

Tab. 4 Number of phytoplankton species in different regions of the West Lake

数量 Number	湖区 Region	外西湖 ¹	北里湖 ²	岳湖 ³	西里湖 ⁴	小南湖 ⁵	三潭内湖 ⁶	合计 种数 ⁷	各站位 共同种 ⁸	仅在一个 湖中出现 ⁹	仅在一个 站号中出现 ¹⁰
类别 Phylum											
Cyanophyta		37	21	15	25	20	17	39	10	10	3
Chlorophyta		82	36	31	44	29	34	96	16	45	28
Bacillariophyta		46	17	19	30	22	16	62	4	27	22
Euglenophyta		13	3	3	3	4	5	15	1	9	5
Chrysophyta		6	3	2	2	3	4	8	1	5	4
Pyrrophyta		4	2	—	3	1	1	6	—	4	3
Cryptophyta		3	2	2	2	1	1	3	1	1	1
总计 Total		191	84	72	109	80	78	229	33	101	66
百分比(%)		31.11	13.68	11.73	17.75	13.03	12.7	100	14.41	44.1	28.82

1—6 注同表2。7. Total species; 8. Species common to all stations; 9. Found in one lake only;

10. Found in one station only

3)。

3. 浮游植物种类组成的相似性

比较各湖区测站年浮游植物种类组成的相似性指数值(s)结果可知,西湖浮游植物

种类组成的相似性指数值(s) 在 51.3—85.3 范围,在同一湖区以外湖、北里湖和西里湖各站位相比较的相似性最好, s 都在 75—86 范围;在不同湖区的各站位相比较,以岳湖同西里湖的种类较接近, s 在 73.9—78.4 范围,三潭内湖和小南湖的相似值最小(图 3,表 4)。

讨论与结论

1. 西湖各湖区浮游植物种类分布,各门藻类都以外湖出现的种数为最多,占总数的 31.11%;其次是西里湖占 17.75%,其它湖区所出现的各门藻类比例各不相等(表 4)。从浮游植物种类组成的相似性比较结果看(图 3),在同一湖区以北里湖相似性最好,共同种有 64 种(占出现种数的 76.19%);在不同湖区以三潭内湖和小南湖的相似性最差,以西里湖与岳湖种类组成相似性为好,并且西里湖种类组成较复杂,既有与岳湖相同种类,又有与外湖和小南湖相同的种类。在西湖各湖区出现的 229 种浮游植物中,各站位出现的共同种仅 33 种(占 14.41%);仅在某一个湖区出现的有 101 种(占 44.10%);仅在某一个站出现的偶见种有 66 种(占 28.82%)(表 4)。

2. 西湖浮游植物的优势种类组成和分布,不仅在各月份出现不同,而且在各湖区也不相同。在 12 月具有高密度的水华束丝藻也仅在外湖和北里湖各站位占优势,其它各湖区并不占优势,而被螺纽鞘丝藻、弯曲尖头藻、大螺旋藻等占优势(表 1)。

3. 西湖浮游植物的数量以蓝藻占绝对优势,并且以 12 月为高峰值,10 月和 11 月为次高峰,这与项斯端记录 1980 年西湖湖心年蓝藻量以 11 月为峰值的结果基本相似^[4],但水华束丝藻在 1978 年 4 月为 838×10^5 个/L^[3],1980 年 4 月峰值为 $800-900 \times 10^5$ 个/L 和 1981 年 4 月达 6773×10^5 个/L^[4],而 1985 年 4 月观察该种细胞密度仅 1.37×10^5 个/L,并不占优势,这可能是西湖治理后环境因子的改变所致。1—2 月水温下降,初步治理后的西湖总磷减少,透明度显著提高,蓝藻总量急骤下降,水华束丝藻几乎没有出现,而被寡污水性—— β 中污水性指标种类的克罗脆杆藻 (*Fragilaria crotonensis*) 和散枝锥囊藻替代为该月外湖、西里湖、三潭印月内湖的优势种。浮游植物密度与透明度成负相关,而岳湖透明度低、浊度大,是由于紧靠游船码头,脚踏船游动频繁而引起的混浊所致。

4. 比较初步治理前后西湖浮游植物的种数、细胞密度及其有关环境参数值(表 2, 5)。初步治理后(1985.2—1986.2)比治理前(1978—1980)浮游植物种数增加 73.48%,年均量下降 22.10%,透明度提高 14cm, pH 值下降 0.49,总磷下降 0.02mg/L,总氮下降 2.124mg/L,氨氮下降 0.221mg/L,化学耗氧量下降 0.03mg/L。显然,西湖经过几年治理后水生态环境向着有利的方向发展,蓝藻密度下降,硅藻、金藻和绿藻的 β 中污水性——寡污水性指标种类和数量增加。

5. 在西湖各湖区占优势的浮游植物,虽然能适合在不同水域生境繁盛,但按照津田松苗等的划分^[5],大部分是偏向 β 型和 α 型中污水性的指标藻类(表 6)。依据浮游植物种类组成、个体数量分布与环境参数的关系以及出现的指示种类、生态类型,并结合污水生物体系分析西湖水体,作者认为,西湖主要是以有机污染为主。三潭印月内湖池内有大量水生维管植物,水体自净作用好,透明度长年清澈见底,寡污水性种类和数量比其它各湖

表 5 西湖治理前、后浮游植物的种数和细胞密度

Tab. 5 Comparison of species number and cell density of phytoplankton before and after controlling water pollution in the West Lake

类 别 Phylum	治 理 前 (1978) ^[3]				治 理 后 (1985.2—1986.2)			
	种 数	百分比 (%)	年均量 ($\times 10^3/l$)	百分比 (%)	种 数	百分比 (%)	年均量 ($\times 10^3/l$)	百分比 (%)
蓝藻门 Cyanophyta	31	23.48	638.12	80.97	39	17.03	422.96	68.90
绿藻门 Chlorophyta	73	55.30	105.11	13.34	96	41.92	97.3	15.85
硅藻门 Bacillariophyta	19	14.39	34.80	4.42	62	27.07	77	12.54
裸藻门 Euglenophyta	4	3.03	4.29	0.54	15	6.55	4.04	0.66
金藻门 Chrysophyta	—	—	—	—	8	3.5	11.31	1.84
甲藻门 Pyrrophyta	5	3.79	5.74	0.73	6	2.62	0.76	0.12
隐藻门 Cryptophyta	—	—	—	—	3	1.31	0.52	0.09
总 计 Total	132	100	788.06	100	229	100	613.89	100

表 6 西湖浮游植物优势种的耐污性

Tab. 6 Resistance to pollution by the dominant species of phytoplankton in the West Lake

耐污性(+) / 优势种类 \ 类 别	α 中污水性	β 中污水性	寡污水性
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	+	+	
<i>Lyngbya contorta</i>	+	+	
<i>Spirulina major</i>	+	+	
<i>Microcystis aeruginosa</i> (M. flos-aquae)	+	+	
<i>Raphidiopsis curvata</i> (Anabaenopsis raciborskii)	+	+	
<i>Merismopedia tenuissima</i>	+	+	
<i>Anabaena affinis</i>	+	+	
<i>Fragilaria construens</i>		+	+
<i>F. crotonensis</i>		+	+
<i>Melosira granulata</i>		+	+
<i>Dinobryon divergens</i>		+	+
<i>Actinastrum hantzschii</i>		+	+
<i>Ankistrodesmus</i> spp.	+	+	
<i>Scenedesmus</i> spp.	+	+	
<i>Oscillatoria</i> spp.	+	+	
<i>Nitzschia</i> spp.		+	+
<i>Synedra</i> spp.		+	+

多,但由于外湖环境因子改变和藻量过高时进入内湖使之受污,故属 β 型中污水性水域,其它各湖区处在 β 型和 α 型中污水性水域。

参 考 文 献

- [1] 饶钦止, 1956. 湖泊调查基本知识. 科学出版社。
- [2] 胡鸿钧等, 1980. 中国淡水藻类. 上海科学技术出版社。
- [3] 何绍箕、刘经雨、毛发新, 1980. 杭州西湖浮游藻类的初步研究. 杭州大学学报, (1): 104—116。
- [4] 项斯端, 1983. 杭州西湖的浮游蓝藻群落及其类型. 杭州大学学报, 10(增刊): 75—88。
- [5] 朱根海, 1989. 杭州西湖浮游藻类的种类组成和数量变动. 海洋湖沼通报, (4): 69—75。
- [6] 韩茂森等, 1980. 淡水浮游生物图谱. 农业出版社。
- [7] 罗迪安译 (B. 福迪著), 1980. 藻类学. 上海科学技术出版社。
- [8] 卢全章译(日本生态学会环境问题专门委员会编), 1987. 环境和指示生物(水域分册). 中国环境科学出版社。
- [9] Round, F. E., 1981. The ecology of algae, Cambridge Univ. Press.
- [10] Santhanam, R., Krishnamurthy, K. and Sundararaj, V., 1975. Quantitative phytoplankton ecology, Bull. Dept. Mar. Sci. Univ. Cochin. 7(4): 769—779.

STUDIES ON PHYTOPLANKTON AFTER PRELIMINARILY CONTROLLING WATER POLLUTION IN THE WEST LAKE, HANGZHOU

Zhu Genhai and Ning Xiuren

(Second Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Hangzhou 310012)

Abstract

Monthly observations were made on the species composition, quantitative distribution of phytoplankton and their relation with the environmental parameters after controlling water pollution in the West Lake from February 1985 to Feb. 1986. 229 species were identified. Among them, 39 species belong to 19 genera of Cyanophyta; 87 species, 8 varieties and 1 forma belong to 35 genera of Chlorophyta; 54 species, 7 varieties and 1 forma belong to 24 genera of Bacillariophyta. The dominant species are *Aphanizomenon flos-aquae*, *Raphidiopsis curvata*, *Spirulina major*, *Lyngbya contorta*, *Microcystis aeruginosa*, *Merismopedia tenuissima*, *Anabaena affinis*, *Fragilaria crotonensis*, *F. construens*, *Melosira granulata*. Besides, *Scenedesmus* spp. and *Dinobryon divergens* were also abundant. The annual mean cell density in the whole West Lake including six lake regions was 614×10^5 cells/L. The maximum density of 529.1×10^5 cells/L occurred in the Waixihu region and minimum density of 1.76×10^5 cells/L in the Santanyinyue region. Cyanophyta was most abundant, having an average density of 423×10^5 cells/L. Density of 97.3 and 77×10^5 cells/L were observed for Chlorophyta and Bacillariophyta respectively. A strong negative correlation ($r = -0.92$) was found between cell density and transparency. The similarity indices of phytoplankton composition between the stations ranged from 51.3 to 85.3.

Key words Phytoplankton, Similarity indices, The West Lake