

## 抚仙湖浮游植物发展趋势分析\*

李荫玺<sup>1</sup>, 王 林<sup>2</sup>, 祁云宽<sup>1</sup>, 唐 芳<sup>1</sup>

(1: 玉溪市环境科学研究所, 玉溪 653100)

(2: 玉溪师院化学与环境科学系, 玉溪 653100)

**摘 要:**对二十多年来抚仙湖表层湖水中藻类的第一手监测资料做了比较系统的分析研究,以揭示其发展趋势与成因.结果表明,抚仙湖浮游植物生物量增长了 10.5 倍,种群结构从 45 种增加到 78 种,主要原因是入湖 TN、TP 滞留率高达 88.5% 和 93%,星云湖泄水高浓度藻量,为抚仙湖藻类增长提供了种源及营养源.

**关键词:**抚仙湖;浮游植物;富营养化

## Studies on the phytoplankton development trend in Lake Fuxian, China

LI Yinxi<sup>1</sup>, WANG Lin<sup>2</sup>, QI Yunkuan<sup>1</sup> & TANG Fang<sup>1</sup>

(1: Yuxi Institute of Environmental Science Research, Yuxi 653100, P. R. China)

(2: Chemistry and Environmental Science Department, Yuxi Normal College, Yuxi 653100, P. R. China)

**Abstracts:** Analysis was carried out on the monitoring data of phytoplankton in the top layer of Lake Fuxian since 1980. It revealed that the phytoplankton community has been developing on both species diversity and total biomass in the past two decades. The species has increased from 45 to 78, and the biomass has increased 10.5 times. The dominant forcing factor for the development was the accumulation of nitrogen and phosphorous in the lake, the retention ratio of nitrogen and phosphorous was as high as 88.5% and 93% in the lake. The source of increased species was Lake Xingyun in the drainage basin of Gehe River, the largest inflow river of Lake Fuxian.

**Keywords:** Lake Fuxian; phytoplankton; eutrophication

浮游藻类是湖泊生态系统生产力的基础,其时间发展过程不仅反映了湖泊生态演变趋势,更是湖水性状的指示者<sup>[1]</sup>.抚仙湖是我国第二深水湖泊<sup>[2]</sup>,目前尚处在贫营养阶段<sup>[3]</sup>,研究其浮游藻类数量和组成的时间变化过程不仅可以揭示其生态系统的演变动态,更能及时反映水质污染和富营养化趋势<sup>[3]</sup>.1980年中国科学院南京地理与湖泊研究所曾经对抚仙湖浮游藻类数量、组成、分布做了详细调查.1989年以来玉溪市环境监测站对抚仙湖浮游藻类进行了连续监测,积累了比较系统的监测资料.本文对以上资料进行系统对比分析,旨在揭示抚仙湖表层水体中浮游藻类数量和组成的发展趋势,借以反映水质及营养水平的演变,为更深入研究和生态管理、污染控制提供基础资料.

### 1 调查研究方法

在抚仙湖湖面设置 4 个采样点(图 1),采样时间每年的 3、8、11 月各一次.用 2500 ml 柱状采水器采集表层 1-5 m 混合水样,精确量取 1000 ml 水样,加碘液(鲁哥氏液)固定,沉淀浓缩后采用显微计数测量法<sup>[5]</sup>进行分析.

分析研究采用了 1989-2004 年连续监测资料<sup>①</sup>,并引用了 1980 年中国科学院南京地理与湖泊研究所调查资料.藻类数量的年度统计资料采用 4 个采样点上 3 次采样分析的算术平均值,种类统计资料为年度

\* 2006-04-10 收稿;2006-06-20 收修改稿.李荫玺,女,1956 年生,高级工程师.

① 玉溪市环境保护局、玉溪市环境质量报告书(1989—2004 年度).

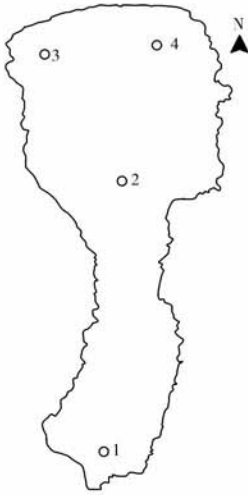


图1 抚仙湖监测点  
Fig. 1 Monitoring sites  
of Lake Fuxian

内检出的所有种类。

## 2 结果与讨论

### 2.1 浮游植物种类组成及演变趋势

历年样品鉴定分析统计结果见表1。依据十多年的分析数据可知,抚仙湖浮游植物组成发生了明显的变化。1978-1980年中科院南京地理与湖泊研究所调查,共检出浮游植物6门36属45种。水华束丝藻(*Aphanizomenon flos*)、丝藻(*Ulothrix sp.*)、角星鼓藻(*Staurastrum sp.*)、广缘小环藻(*Cyclotella bodanica*)、飞燕角甲藻(*Ceratium hirundinella*)、纤维藻(*Ankistrodesmus*)、四足十字藻(*Crucigenia tetrapedia*)等是湖中主要种类,广泛分布于全湖,平面分布无明显地区性差异<sup>[4]</sup>。2004年共检出浮游植物7门49属78种。其中小转板藻(*Mougeotia parvula* Hass)一直是优势种,微小四角藻(*Tetraedron trilobulatum*)、双对栅藻(*Scenedesmus bijugatus*)、广缘小环藻(*Cyclotella bodanica*)、飞燕角甲藻(*Ceratium hirundinella*)、花环锥囊藻(*Dinobryon sertularia*)。为常见种。抚仙湖浮游植物的平面分布已出现地区性差异,2000年以来在抚仙湖南岸隔河口湖湾出现了铜绿微囊藻(*Microcystis aeruginosa*),而在北岸、东岸、西岸及湖区区域很少见。

表1 抚仙湖浮游植物数量及组成统计表

Tab. 1 Statistics of quantity and form of phytoplankton in Lake Fuxian

年份	数量( $10^4$ ind./L)/ 属数								总数
	蓝藻门	绿藻门	硅藻门	金藻门	甲藻门	裸藻门	隐藻门	黄藻门	
1980	5.3/9	4.72/20	2.72/3					2	12.77/36
1990	3.6/8	8.6/19	4.16/4	1.44/1	0.13/1	0.07/2	1		17.8/36
1995	3.11/6	8.89/21	2.17/9	2.29/1	0.98/2	0.3/2			17.7/41
1996	3.84/6	11.9/23	1.61/8	4.27/1	1.54/3	0.68/2	1		23.8/44
1997	2.6/6	15.1/21	9.0/9	0.7/1	0.85/3	0.2/2	0.2/1		28.6/42
1998	2.18/7	23.4/22	7.49/9	1.65/1	0.94/3	0.23/2	1		35.9/44
1999	4.5/7	16.3/20	8.2/8	0.5/1	1.0/3	0.5/2	1		31.0/42
2000	5.4/7	16.5/21	6.9/9	0.8/1	2.1/2	0.8/2	1		33.0/43
2001	9.02/9	26.74/22	12.45/8	0.7/1	0.7/3	0.8/2			50.4/45
2002	6.749/8	58.62/23	28.29/8	0.56/1	0.31/3	0.15/2	0.04/1		95.36/46
2003	1.77/9	71.4/23	44.7/8	0.9/1	4.17/3	0.69/2	0.04/1		123.67/47
2004	1.1/9	75.31/24	52.85/10	3.48/1	0.94/3	0.48/2	1		134.17/50

抚仙湖浮游植物总体向多样性增加发展,变化最明显的是硅藻门,种数增加了3倍;但清水性黄藻自1993年就没有检出。藻类发展趋势是喜营养种类(栅藻属 *Scenedesmus*、直链藻属 *Melosira*、四角藻属 *Tetraedron* 等)渐渐增多,清水性种类(丝藻属 *Ulothrix*、微孢藻属 *Microspora*)渐渐减少。上个世纪50-70年代的优势种水华束丝藻很少检出,已被小转板藻(*Mougeotia parvula* Hass)所替代;近四年来铜绿微囊藻(*Microcystis aeruginosa*)在湖泊南岸大量出现,这种演变表明抚仙湖生态环境发生了变化。

### 2.2 浮游植物生物量发展趋势

历年监测数据统计分析结果表明,2004年抚仙湖浮游植物生物量范围  $54.25 - 252.25 \times 10^4$  ind./L,年平均  $134.17 \times 10^4$  ind./L。1980年中科院南京地理研究所调查时的浮游植物生物量范围为  $1.7 - 37.8 \times 10^4$  ind./L,年平均  $12.77 \times 10^4$  ind./L<sup>[4]</sup>。与1980年相比竟增长了10.5倍,其中绿藻门的生物量增长了近16倍,硅藻门增长了19倍(图2)。特别是自2000年以来浮游植物的生物量增长速度明显加快,在2000-2004

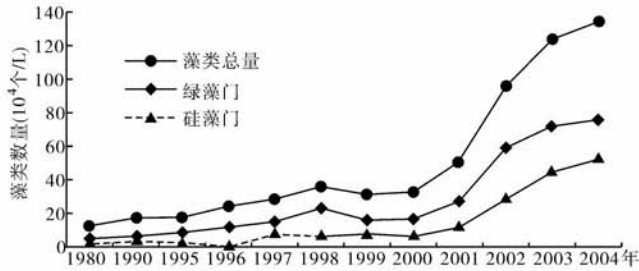


图2 抚仙湖浮游植物及优势门类数量的发展趋势

Fig. 2 Development of quantity of phytoplankton and predominant phylums in Lake Fuxian

年短短4年中,浮游植物生物量增长了4倍,绿藻门的生物量增长了4.5倍,硅藻门增长了7.6倍.抚仙湖浮游植物生物量这种发展趋势,揭示了湖泊水体营养水平的演变.

### 2.3 浮游植物生物量增长原因分析

2.3.1 入湖营养物长年累积于湖中为藻类繁殖提供了物质基础 据调查资料,抚仙湖湖盆区地表径流每年携带入湖 TN375.8 t、TP56.3 t,但随泄水外流(包括水资源利用)及水产品输出量移出的营养盐 TN40.4 t、TP3.9 t<sup>[6]</sup>,仅相当于径流入湖量的11.5%和7.0%,滞留率高达88.5%和93%(表2).大量营养盐类累积湖中,促使水体中有机物及氮、磷含量逐年升高,为藻类的繁殖提供了物质基础<sup>[7]</sup>.

2.3.2 星云湖为抚仙湖输送了大量的营养盐及生物种源 星云湖由隔河下泄至抚仙湖多年平均水量  $2433 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,丰水年  $4364 \times 10^4 \text{ m}^3$ .现星云湖水水质综合评价为劣V类(GB3838-2002),2004年湖水中 TN 1.6 mg/L,是抚仙湖的(0.145 mg/L)11倍;TP 0.257 mg/L,是抚仙湖的(0.009 mg/L)29倍;浮游植物生物量  $796.9 \times 10^4$  个/L,是抚仙湖的( $134.17 \times 10^4$  个/L)的6倍.星云湖水中蓝藻占绝对优势,蓝藻生物量  $664.7 \times 10^4$  个/L,占藻类生物总量的83%,是抚仙湖的( $1.1 \times 10^4$  个/L)600倍,而蓝藻滞

表2 抚仙湖氮、磷平衡表

Tab. 2 Mass balance of nitrogen and phosphorus in Lake Fuxian

	TP	TN
入湖总量(t/a)	56.27	375.8
出湖总量(t/a)	0.81	11.16
水产品输出(t/a)	3.12	29.22
滞留量(t/a)	52.34	332.4
滞留率(%)	93.0	88.5

类中的绝对优势种铜绿微囊藻(*Microcystis aeruginosa*),占总生物量的75%.可见星云湖每年下泄的水体中除含有高浓度的营养元素外,还含有高浓度的藻量及70多种浮游藻类,为抚仙湖输送了大量的营养盐及浮游植物种源.

由于地域原因抚仙湖纳污吐清,长期处于营养物收支严重失衡状态,大量营养物质积累于湖中,为浮游植物的繁殖创造了物质条件,再加上适宜藻类繁殖的气候环境因素,导致浮游植物生物量过速增长.2002年5月31日抚仙湖南部湖湾约  $3 \text{ km}^2$  水域受星云湖泄水影响而爆发了水华,水华优势种是铜绿微囊藻(*Microcystis aeruginosa*),这类藻类暴发在抚仙湖是第一次,时间持续了3d.水华期间抚仙湖南岸水中浮游植物生物量高达  $1092 \times 10^4$  个/L,Chl. a 116.9 mg/L,铜绿微囊藻占70%.2002年全湖藻类平均生物量比2001年翻了一番,近3年来玉溪市政府采取了一系列的除藻、控藻措施,虽然抚仙湖南岸再没有出现水华,但全湖性的浮游植物生长过速,3年来抚仙湖浮游植物生物量增长率达160%,因此,星云湖的大量泄水确实对抚仙湖造成了生态危害.

### 2.4 浮游植物生物量增长对水质的影响分析

浮游植物加速繁殖引起了湖泊生态系统及水质的变化,变化最为明显的是水体透明度,上个世纪70年代抚仙湖透明度在10-12 m,80年代7-10 m,90年代5-7 m,近5年平均只有5-6 m.而影响水体透明度的另一个因子悬浮物20年来一直保持在4-5 mg/L<sup>[7]</sup>,并没有明显变化,因此抚仙湖透明度的下降主要是藻类增长所致.透明度下降直接影响水体感观和热量平衡,同时每年大量藻体腐烂于水体中,再加上每年入

湖污染负荷的积累,从而促使水质逐渐下降.

自1980年以来抚仙湖有机污染因子及营养元素呈上升趋势:COD<sub>Mn</sub>由0.67 mg/L增加至1.14 mg/L, BOD<sub>5</sub>由0.58 mg/L增加至1.69 mg/L, TN由0.11 mg/L增加至0.145 mg/L, TP由0.006 mg/L增加至0.009 mg/L(2004年). 营养盐类含量的增加为藻量的繁殖提供了物质基础<sup>[8]</sup>, 藻量的过速繁殖和死亡分解又为水体增加了大量有机污染物,引起水质下降,导致湖泊生态系统处于不良循环,预示着抚仙湖富营养化的加速发展. 因此,必须控制陆源,减少水体营养负载,遏止藻量过速增长,保持湖泊生态系统长期稳定.

### 3 结论

抚仙湖浮游植物生物量20多年来增长了10.5倍,其中绿藻门生物量增长了16倍,硅藻门生物量增长了19倍. 藻量增长主要原因是湖盆区域环境污染严重,地表径流入湖氮、磷负荷量88.5%、93%滞留于湖中. 其次是星云湖泄水为抚仙湖输送了高浓度的营养物及藻类. 由于多年营养物的积累及适宜的气候为藻类的繁殖创造了条件,抚仙湖南岸首次暴发铜绿微囊藻为主的水华,这对抚仙湖生态系统是一个严重创伤. 藻类的繁殖增多又影响水体透明度及水质下降,抚仙湖生态系统已处于不良循环,浮游植物生物量增长趋势必然会加速湖泊富营养化的发展. 因此,各级政府应高度重视,采取综合治理措施,控制陆源入湖,减少水体营养负载,遏制其富营养化发展势头.

### 4 参考文献

- [1] Robert G Wetzel. Limnology, Lakes and River Ecosystems. New York: Academic Press, 2001.
- [2] 王苏民, 窦鸿身主编. 中国湖泊志. 北京: 科学出版社, 1998.
- [3] 金相灿等. 中国湖泊富营养化. 北京: 中国环境科学出版社, 1990.
- [4] 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 抚仙湖. 北京: 海洋出版社, 1990.
- [5] 黄祥飞, 湖泊生态调查观测与分析. 北京: 中国标准出版社, 2000.
- [6] 李荫玺等. 抚仙湖生态系统变化趋势分析研究. 生态经济, 2001, 增刊.
- [7] 李荫玺等. 抚仙湖富营养化初探. 湖泊科学, 2003, 15(3): 285 - 288.