

岳阳南湖浮游植物与富营养化特征分析

葛大兵, 吴小玲, 周 慧, 王志坤, 朱伟林

(湖南农业大学资源环境学院, 湖南 长沙 410128)

摘要 根据 2002 年 5 月至 2003 年 3 月对岳阳南湖营养状态、浮游植物与南湖水质进行的调查分析, 指出南湖有浮游藻类 101 种, 其群落结构均为绿藻和蓝藻。优势藻类是绿藻, 占总数的 63.6%; 其次是蓝藻, 占总数的 28.7%。分析南湖浮游植物的组成, 其组成与分布随季节变化而变动, 春夏两季增多, 秋、冬季相对较少。营养状态指数 TSI_m 在 54.94 ~ 60.86 之间, 均大于 54。南湖处于富营养化状态。

关键词 岳阳南湖; 富营养化; 浮游植物

中图分类号: X503.23 文献标识码: A 文章编号: 1004-693X(2005)02-0046-04

Analysis of phytoplankton and eutrophication in South Lake of Yueyang

GE Da-bing, WU Xiao-ling, ZHOU Hui, WANG Zhi-kun, ZHU Wei-lin

(College of Resources and Environment, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

Abstract: The trophic state, the distribution of phytoplankton, and water quality in South Lake of Yueyang are investigated and analyzed from May 2002 to March 2003. 101 species of phytoplankton is observed, predominated by Chlorophyta and Cyanophyta, the percentage of which are 63.6% and 28.7% respectively. The distribution and composition of phytoplankton change in different seasons, as the amount of the phytoplankton is much more in spring and summer than in autumn and winter. The value of trophic state index (TSI) is between 54.94 ~ 60.86, more than 54, so it can be concluded that the South Lake was eutrophic.

Key words South Lake; eutrophication; phytoplankton

南湖位于岳阳市城区内, 是一个城市旅游型湖泊, 也是“岳阳天下楼、洞庭天下水”的岳阳楼洞庭湖国家级风景名胜区的主要景区, 由于大量城市生活污水排入, 南湖水质近年来迅速恶化^[1], 呈现有机污染与富营养化特征^[2]。我国很多城市旅游型湖泊都开展过详细的生态学、生物学调查研究, 如武汉东湖^[3]、杭州西湖^[4]、广东星湖^[5]等, 特别是近年来, 广东对水库水体浮游生物及其富营养化研究颇多^[6-15], 而有关南湖的生态学与生物学研究则未见报道, 仅有葛大兵对其水质及其环境容量进行过初步研究^[1, 2]。本文对南湖浮游植物及其水质关系进行了研究。

1 研究方法

1.1 采样点设置

根据湖泊位置、形态和水文状况, 在南湖污染带麦子港、污染稀释与混合带南湖中心设点采样。采样时间为 2002 年 5 月至 2003 年 3 月, 每月 1 次。

1.2 样品采集与处理

按《湖泊富营养化调查规范》(第 2 版) 进行采样与分析。

a. 定性分析: 用 25 号浮游植物网拖取样品, 随即转入样瓶里。

b. 定量分析: 用水生—81 型有机玻璃采水器在水表面下 0.5 m 处采水样 1 L 于 1.5 L 聚乙烯瓶中, 随即加入 1% 碳酸镁悬浊液 2 mL, 并立即带回实验

室,用 3500 r/min 的离心机离心 5 min,将水样浓缩转移至 25 mL 的容量瓶中定容至 25 mL,然后用 0.1 mL 的计数框在双目显微镜下镜检分类及计数。

c. chl_a 测定。采用金相灿《湖泊富营养化调查规范》(第 2 版)的方法^[7]。

d. 水质监测数据来源于岳阳市环境监测站提供的《2002~2003 年南湖水质监测月报》。

1.3 营养状态指数测定公式

根据南湖透明度、浮游植物现存量(以 chl_a 含量表示)及 TP 之间存在的相关关系,以 chl_a 值为基准,求出修正的卡尔森营养状态指数(TSI_m)。

$$TSI_m(\text{chl}_a) = 10(2.46 + \ln(\rho(\text{chl}_a))/\ln 2.5)$$

$$TSI_m(\text{SD}) = 10(2.46 + (3.69 - 1.53 \ln(\rho(\text{SD}))/\ln 2.5))$$

$$TSI_m(\text{TP}) = 10(2.46 + (6.71 + 1.15 \ln(\rho(\text{TP}))/\ln 2.5))$$

$$\text{总 } TSI_m = (TSI_m(\text{chl}_a) + TSI_m(\text{SD}) + TSI_m(\text{TP}))/3$$

式中: $\rho(\text{chl}_a)$ 为叶绿素 a 值, $\mu\text{g/L}$; $\rho(\text{SD})$ 为透明度, m; $\rho(\text{TP})$ 为总磷质量浓度, mg/m^3 。 TSI_m 值小则水质较佳,反之则水质较差,据此划分 3 个营养等级: $TSI_m < 37$ 为贫营养型, $38 < TSI_m < 53$ 为中营养型, $TSI_m > 54$ 则为富营养型。

2 结果与讨论

2.1 浮游藻类组成

在整个调查过程中,共发现南湖中的浮游藻类 59 属 101 种,隶属于 5 个门,其中,种类最多的是绿藻门,共 38 属 64 种,占总数的 63.6%;其次是蓝藻门,共 15 属 29 种,占总数的 28.7%;裸藻门 3 属 5 种,占总数的 4.95%;隐藻门 2 属 2 种,占总数的 1.98%;硅藻门 1 属 1 种。主要浮游藻类的组成见表 1。其中 β 型中污水体指示种类 9 种,寡污型指示种 1 种。藻类随季节的变化表现在春末、夏季指示种类较多,秋、冬季较少。南湖中的污染物类型主要为有机物污染,从一年的观察纪录结果分析,南湖浮游藻常见且数量大多位于“耐有机物污染的藻类的种”的前列,是四尾栅藻、镰形纤维藻、实球藻、小球藻、变异直链藻、巨颤藻、尖尾裸藻、蛋白核小球藻、空球藻、长绿梭藻、多形裸藻、小空心藻、二形栅藻、旋转囊裸藻等。在南湖水体中,水华微囊藻、具缘微囊藻、铜绿微囊藻、颗粒直链最窄变种等富营养性藻类常年存在,且随水温的升高生物量逐渐增大,并在夏季达到最大值,十字藻、四角十字藻、四尾栅藻、二尾栅藻等富营养性的藻类也常年存在,但是十字藻、四角十字藻等数量较少。因此,从浮游藻类的情况

来看,南湖的水质已经富营养化,但在 1 年的调查分析中,还未出现过水华等现象,每月的优势藻种不单一,所以其富营养化程度目前还不太严重。

2.2 数量变动

调查与监测结果见图 1。从图 1 可知,岳阳市南湖的藻类数量变化,是一条先增加后减小的曲线,呈现出单峰型,这说明南湖藻类数量变化存在明显的季节性变化。藻类数量在夏季 6、7、8 月的数量最多,达 10.15×10^6 个/L,7 月的数量最多,达 12.5×10^6 个/L。而在冬季和春初 12、2、3 月,藻类数量最少,仅为 0.71×10^6 个/L。从结果中还可以看出,南湖 5、6、7、8、10、11 月藻类的数量都超过 10^6 个/L,而 12、2、3 月藻类的数量都小于 10^6 个/L,根据日本学者划分富营养化水体的标准^[3],富营养化水体中藻类数量超过 10^6 个/L,可以知道全年中 5~8 月、10~11 月南湖处于富营养化状态。

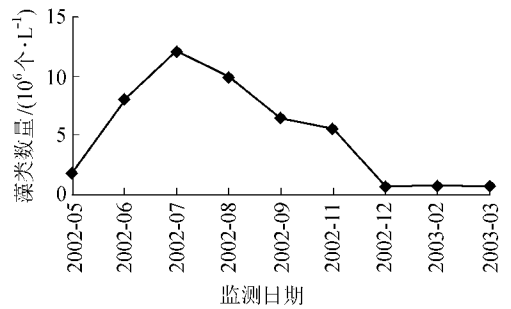


图 1 南湖藻类数量变化

2.3 营养状态指数测定

依据卡尔森修正营养状态指数公式计算得出 2002~2003 年春、夏、秋、冬季的营养状态指数均大于 54,说明南湖水体全年处于富营养化水平,与 2.2 节的分析结果一致。各分项营养状态指数为:

$$TSI_m(\text{chl}_a) = 33.96$$

$$TSI_m(\text{TP}) = 68.67$$

$$TSI_m(\text{SD}) = 69.93$$

$$\text{总 } TSI_m = 57.52 > 54$$

2.4 南湖水质变化

南湖接纳城市排污人口约 30 万,生活污水仅通过简单的化粪池处理后排入南湖,污水年排放量为 3260 万 t。岳阳市环境监测站自 1988 年开始对南湖水质进行监测,20 世纪 80~90 年代中期水质基本稳定,但 90 年代后期至 21 世纪初,水质变化明显,数据表明南湖水质污染呈加重之趋势,见表 2。图 2 为 $\rho(\text{chl}_a)$ 与 $\rho(\text{SD})$ 随季节变动图, $\rho(\text{SD})$ 随着 $\rho(\text{chl}_a)$ 的增大而增大,随着 $\rho(\text{chl}_a)$ 的减小而减小,呈正相关关系。见表 3。

表 1 南湖浮游植物组成

蓝藻门(部分)	池生微孢藻 <i>Microspora stagnorum</i> (Kütz.) Lag.
水华微囊藻 <i>Microcystis flos-aquae</i> (Wütr.) Kirch.	池生微孢藻 <i>Microspora stagnorum</i> (Kütz.) Lag.
具缘微囊藻 <i>Microcystis marginata</i> (Menegh.) Kütz.	纵毛微孢藻 <i>Microspora floccose</i> (Vauch.) Thur.
铜绿微囊藻 <i>Microcystis aeruginosa</i> Kütz.	筒藻 <i>Cylindrocapsa geminella</i> Wolle.
不定微囊藻 <i>Microcystis incerta</i> Lemm.	卵形胶囊藻 <i>Gloeocystis ampla</i> (Kütz.) Lag.
静水隐杆藻 <i>Aphanothece stagnina</i> (Spr.) Br.	单生卵囊藻 <i>Oocystis solitaria</i> Wütr.
美丽隐球藻 <i>Aphanocapsa pulchra</i> W. et. G. S. West.	湖生卵囊藻 <i>Oocystis lacustis lacustis</i> Chod.
细小隐球藻 <i>Aphanocapsa elachista</i> W. et. G. S. West.	泡状空盘藻 <i>Jaoa bullata</i> (Jao.) Fan.
线形棒条藻 <i>Rhabdoderma lineare</i> Schm.	杆裂丝藻 <i>Stichococcus bacillarina</i> Näg.
针晶蓝纤维藻 <i>Dactylococopsis raphidioides</i> Hansg.	小形月牙藻 <i>Selenastrum minutum</i> (Näg.)
针状蓝纤维藻 <i>Dactylococopsis acicularis</i> Lemm.	新月藻 <i>Closterium venus</i> Kütz.
小颤藻 <i>Oscillatoria tenuis</i> Ag.	小双胞藻 <i>Geminella minor</i> (Näg.) Heer.
巨颤藻 <i>Oscillatoria prnceps</i> Vauch.	微小四角藻 <i>Tetraëdron minimum</i> (Br.) Hansg.
线形粘杆藻 <i>Gloeotheca uncatris</i> Näg.	三叶四角藻 <i>Tetraëdron trilobulatum</i> (Reinsch.) Hansg.
普通念珠藻 <i>Nostoc commune</i> Vauch.	规则四角藻 <i>Tetradron regulare</i> Kütz.
捏团粘球藻 <i>Gloeocapsa magna</i> (Breb.)	十字藻 <i>Crucigenia apiculata</i> (Lemm.) Schm.
点形粘球藻 <i>Gloeocapsa punctata</i> Näg.	四角十字藻 <i>Crucigenia quadrata</i> Morr.
微小色球藻 <i>Chroococcus minutus</i> (Kütz.) Näg.	长绿梭藻 <i>Chlorogonium elongatum</i> Dang.
小形色球藻 <i>Chroococcus minor</i> (Kütz.) Näg.	粗肾形藻 <i>Nephrocytium obesum</i> West.
中华平裂藻 <i>Merismopedia sinica</i> Ley.	浮球藻 <i>Planktosphaeria gelatinosa</i> G. M. Smith.
银灰平裂藻 <i>Merismopedia glauca</i> (Her.) Näg.	四尾栅藻 <i>Scenedesmus quadricauda</i> (Turp.) Breb.
中华尖头藻 <i>Raphidiopsis sinensia</i> Jao.	二形栅藻 <i>Scenedesmus dimorphus</i> (Turp.) Kütz.
大螺旋藻 <i>Spirulina maior</i> Kütz.	被甲栅藻 <i>Scenedesmus armatus</i> (Chos.) Smith.
极大螺旋藻 <i>Oscillatoria maxima</i> Setch. et. Gardn.	中华螺翼藻 <i>Scotiella sinica</i> Jao.
紫色星球藻 <i>Asterocapsa purpurea</i> (Jao.) Chu.	网状空星藻 <i>Coelastrum reticulatum</i> (Dang.) Senn.
阿氏项圈藻 <i>Anabraenopsis arnoldii</i> Aptek.	小空星藻 <i>Coelastrum microporum</i> Näg.
煤黑厚皮藻 <i>Pleurocapsa fuliginosa</i> Hauck.	长鼻空星藻 <i>Coelastrum proboscideum</i> Bohl.
水华束丝藻 <i>Aphanizomenon flos-aquae</i> (L.) Rslfs.	球粒藻 <i>Coccomonas orbicularis</i> Stein.
绿藻门(部分)	拟菱形弓形藻 <i>Schroederia nitzschiioides</i> (West.) Korsch
球衣藻 <i>Chlamydomonas globosa</i> Snow.	集球藻 <i>Palmellococcus miniatus</i> (Kütz.) Chod.
简单衣藻 <i>Chlamydomonas simplex</i> Pasch.	圆形鞘毛藻 <i>Coleochaete orbiculari</i> Pring.
湖生小桩藻 <i>Characium limneticum</i> Lemm.	疏刺多芒藻 <i>Golenkinia paucispina</i> W. et G. S. West.
狭形小桩藻 <i>Characium angustum</i> Br.	纺锤藻 <i>Elakatothrix gelatinosa</i> Wille.
上升绿球藻 <i>Chlorococum humicola</i> (Näg.) Rab.	粘四集藻 <i>Palmella mucosa</i> Kütz.
小球藻 <i>Chlorella vulgaris</i> Beij.	扭曲蹄形藻 <i>Kirchneriella convolutus</i> Cord.
椭圆小球藻 <i>Chlorella ellipsoidea</i> Gern.	镰形纤维藻奇异变种 <i>Ankistridesmus falcatus</i> var. <i>mirabilis</i>
蛋白核小球藻 <i>Chlorella pyrenoidosa</i> chick.	卷曲纤维藻 <i>Ankistridesmus convolutus</i> Cord.
细链丝藻 <i>Hormidium subtile</i> (Kütz.) Heer.	网膜藻 <i>Tetrasporidium javanicum</i> Moeb.
链丝藻 <i>Hormidium flaccidum</i> (Kütz.)	红色四集藻 <i>Palmella miniata</i> Leibl.
双胞丝藻 <i>Ulothrix geminata</i> Jao.	裸藻门
颤丝藻 <i>Ulothrix oscillarina</i> Kütz.	旋转囊裸藻 <i>Trachelomonas volvocina</i> Her.
交错丝藻 <i>Ulothrix implexa</i> Kütz.	多形裸藻 <i>Euglena polymorpha</i> Dang.
串珠丝藻 <i>Ulothrix moniliformis</i> Kütz.	圆柱扁裸藻 <i>Phacus cylindrus</i> Pochm.
中华溪菜 <i>Prasiola sinica</i> Jao.	曲尾扁裸藻 <i>Phacus lismorensis</i> Playf.
单角盘星藻具孔变种 <i>Pediastrum</i> sp.	尾棘裸藻 <i>Trachelomonas armata</i> (Her.) Stein.
四角盘星藻 <i>Pediastrum tetras</i> (Her.) Ralfs.	隐藻门
线形拟韦氏藻 <i>Westellopsis linearis</i> (G. M. Smith.) Jao.	尖尾蓝隐藻 <i>Chroomonas acuta</i> Uterm.
韦氏藻 <i>Westella botryoides</i> (W. West.) Wild.	周泡藻 <i>Vacuolaria vires</i> Gienk.
方形微孢藻 <i>Microspora quadrata</i> Haz.	硅藻门
	颗粒直链藻最窄变种 <i>Melosira granulata</i> var. <i>angustissima</i> Müll.

表 2 TSI_m 季节变化情况

时段	TSI_m	时段	TSI_m
春季	55.41	冬季	54.89
夏季	60.86	全年	57.52
秋季	54.94		

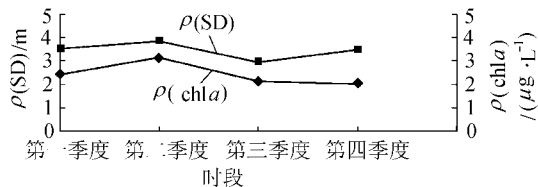


图 2 $\rho(chla)$ 与 $\rho(SD)$ 的季节变化曲线

表 3 南湖水体中藻类数量与水质监测结果

年份	月份	藻类数量 (10^6 个·L ⁻¹)	$\rho(TN)$ ($mg \cdot L^{-1}$)	$\rho(TP)$ ($mg \cdot L^{-1}$)	$\rho(N)/\rho(P)$	pH 值	温度/°C	$\rho(chla)$ ($\mu g \cdot L^{-1}$)	$\rho(SD)$ /m
2000			2.27	0.055	41.2727				
2001			3.18	0.068	46.7647				
	5	1.74	3.50	0.09	38.8889	7.52	20.3	2.594	0.70
	6	8.00	3.67	0.15	24.4667	8.82	31.3	3.072	0.98
	7	12.05	3.20	0.16	20	7.86	34.0	3.344	0.38
2002	8	9.95	3.08	0.15	20.5333	7.91	26.0	3.004	0.70
	10	6.40	2.99	0.12	24.9167	7.88	24.0	2.321	0.73
	11	5.39	3.62	0.12	30.1667	8.42	18.3	1.775	0.88
	12	0.64	4.16	0.07	59.4286	8.02	11.0		1.45
2003	2	0.77	5.80	0.08	72.5	7.87	10.0	1.979	1.23
	3	0.72	5.08	0.07	72.5714	7.64	9.0	2.323	1.95

注： $\rho(TN)$ 、 $\rho(TP)$ 、pH 值由岳阳市环境监测中心站提供，2000 年、2001 年的水质指标值为平均值。

3 结 论

a. 南湖浮游植物有 5 个门 59 属 101 种，优势种类是绿藻门，共 38 属 64 种，占总数的 63.6%；其次是蓝藻门，共 15 属 29 种，占总数的 28.7%。

b. 南湖营养状态指数值一年四季均大于 54，说明南湖已经处于富营养化状态。

c. 南湖富营养化生物学评价结果与 1999 年南湖水质评价结果^[1]一致，表明南湖水质富营养化状态仍没有改变。

参考文献：

[1] 葛大兵, 廖柏寒, 程育芝, 等. 岳阳南湖水环境现状评价及对策[J]. 湖南农业大学学报, 2001(2):128~129.
 [2] 葛大兵, 廖柏寒, 程育芝, 等. 岳阳南湖水环境容量研究[J]. 湖南农业大学学报, 2001(4):321~323.
 [3] 刘建康. 东湖生态学研究[M]. 北京: 科学出版社, 1990. 106~128.
 [4] 朱根海, 宁修仁. 杭州西湖初步治理后的浮游植物现状[J]. 水生生物学报, 1991, 15(2):136~144.
 [5] 陈菊芳, 王朝晖, 江天久, 等. 广东肇庆星湖浮游生物及其水质的关系[J]. 中国环境科学, 2000, 20(3):258~262.
 [6] 游江涛, 林秋奇, 胡韧, 等. 飞来峡水库蓄水初期营养状态

及浮游生物分布特征[J]. 生态科学, 2002, 21(1):21~24.
 [7] 李春艳, 华德尊. 二龙山水库水体富营养化的研究[J]. 环境科学研究, 2002, 15(3):1~5.
 [8] 陈丽芬, 林秋奇, 胡韧, 等. 亚热带大型水库——新丰江水库的浮游生物群落特征[J]. 生态科学, 2002, 21(2):104~107.
 [9] 陈丽芬, 胡韧, 林秋奇, 等. 广东沿海与粤北山区中小型水库浮游生物群落比较分析[J]. 生态科学, 2002, 21(1):16~20.
 [10] 龙思思, 胡韧, 林秋奇, 等. 粤东三个中型水库富营养化特征分析[J]. 生态科学, 2002, 21(2):126~130.
 [11] 董丽华, 胡韧, 林秋奇, 等. 广东典型小型供水水库——契爷石水库浮游生物与富营养化特征分析[J]. 生态科学, 2002, 21(2):147~151.
 [12] 魏鹏, 林秋奇, 胡韧, 等. 高州水库水质与浮游生物动态分析[J]. 应用与环境生物学报, 2002, 8(2):165~170.
 [13] 林桂花, 韩博平. 鹤地水库浮游生物与富营养化特征分析[J]. 生态科学, 2002, 21(3):208~212.
 [14] 胡韧, 林秋奇, 段舜山, 等. 热带亚热带水库浮游植物叶绿素与磷分布的特征[J]. 生态科学, 2002, 21(4):310~315.
 [15] 赵帅营, 林秋奇, 胡韧, 等. 汤溪水库的富营养化现状研究[J]. 生态科学, 2002, 21(4):316~319.

(收稿日期: 2004-11-03 编辑: 高渭文)

(上接第 26 页)

参考文献：

[1] Holan Z R, Volesky B. Biosorption of lead and nickel by biomass of marine algae[J]. Biotechnol bioeng, 1994, 43:1001~1009.
 [2] Fehrmann C, Pohl P. Cadmium adsorption by the non-living biomass of microalgae grown in axenic mass culture[J]. J Appl Phycol, 1993, 5:555~562.
 [3] Trujillo E M. Mathematically modeling the removal of heavy metals from a wastewater using immobilized biomass[J]. Environ Sci Technol, 1991, 25:1559~1565.

[4] 潘进芬, 林荣根. 海洋微藻吸附重金属的机理研究[J]. 海洋科学, 2000, 24(2):31~34.
 [5] Zarrouk C. Photosynthesis de Spirulina maxima[M]. Paris: Thesis University of Paris, 1966.
 [6] 胡先文, 董元彦, 张新萍, 等. 可见分光光度法测定水华鱼腥藻[J]. 华中农业大学学报, 2002, 21(3):295~297.
 [7] 徐明德, 杜春梅. 有机锡对金藻的毒性效应[J]. 黄渤海海洋, 2001, 19(1):66~69.
 [8] 杨心宁, 高亚辉, 王大志, 等. 利用螺旋藻富集碘的实验[J]. 台湾海峡, 2002, 21(1):26~32.
 [9] 周光正. 螺旋藻的物理-化学因素和营养物对其生长的影响[J]. 海洋科学, 1994(6):67~68.

(收稿日期: 2003-12-16 编辑: 高渭文)