

滇池藻类生物量时空分布及其影响因子

万 能^{1,2} 宋立荣¹ 王若南³ 刘剑彤¹

(1. 中国科学院水生生物研究所, 淡水生态与生物技术国家重点实验室, 武汉 430072; 2 中国科学院研究生院, 北京 100049; 3. 云南大学生命科学学院, 昆明 650091)

摘要: 以滇池全湖选取的 40 个样点, 从 2001 年 9 月到 2002 年 8 月对全湖水体中的叶绿素 *a* 的含量每月进行调查, 对浮游植物的群落组成和细胞数每两个月进行分析。结果显示, 叶绿素 *a* 的含量(月均值)从 2002 年 1 月的 0.015mg/L 增加到 2002 年 8 月的 0.10mg/L 呈现明显的上升趋势, 水体温度也从 1 月的 10℃ 上升到 8 月的 28℃; 叶绿素 *a* 含量的全湖均值则显示出南部水域低, 北部水域高的态势, 其中又以 1 号位点最高。滇池地区常年盛行的西南风导致藻类向北的水平运动加强对这一结果的形成有着重要的影响。种群优势度的结果也显示出蓝藻 (Cyanobacterium) 的优势度高达 100%, 其中以铜绿微囊藻 (*Microcystis aeruginosa*) 又最为常见。但在 2002 年 3 月, 束丝藻成为了优势种群, 表明滇池藻类的优势种群存在明显的季节演替。研究结果同时表明, 在各项理化指标当中, 叶绿素 *a* (Chl *a*) 与水温 (WT)、总氮 (TN) 及化学需氧量 (COD_{Mn}) 有极显著相关, Pearson 相关系数分别为 0.736、0.970 和 0.929, *p* < 0.01。结果表明, 氮已经取代磷成为滇池藻类生长的营养限制因子, 表征有机污染程度的 COD_{Mn} 也已成为藻类生物量的主要相关因子, 由此可见滇池的富营养化程度极高, 尤其是有机污染物浓度。

关键词: 生物量; 叶绿素 *a*; 时空分布; 相关性

中图分类号: X173 文献标识码: A 文章编号: 1009-3207(2008)02-0184-05

1 材料和方法

1.1 采样点和采样方法 在全湖水域设置了 40 个采样点(图 1), 采样点的经纬度(表 1)。叶绿素 *a* 及水体

化学指标分析所用的水样取自 0.5m 和 1.0m 水层, 并等量均匀混合。浮游植物的采集使用 25# 浮游植物网。叶绿素 *a* 含量每月测定一次, 藻类种群优势度每两个月选取 20 个位点(表 1 下划线所示)进行分析。

表 1 采样点经纬度

Tab 1 Location of sampling sites in Dianchi Lake

1 E 102° 38' 55"	9 E 102° 39' 53"	17 E 102° 42' 20"	25 E 102° 45' 26"	33 E 102° 39' 53"
N 24° 56' 43"	N 24° 51' 46"	N 24° 49' 48"	N 24° 48' 29"	N 24° 43' 56"
2 E 102° 39' 53"	10 E 102° 41' 20"	18 E 102° 42' 47"	26 E 102° 36' 59"	34 E 102° 41' 00"
N 24° 56' 43"	N 24° 51' 46"	N 24° 49' 48"	N 24° 45' 52"	N 24° 43' 56"
3 E 102° 39' 53"	11 E 102° 42' 47"	19 E 102° 44' 14"	27 E 102° 38' 26"	35 E 102° 36' 59"
N 24° 55' 42"	N 24° 51' 46"	N 24° 49' 48"	N 24° 45' 52"	N 24° 41' 58"
4 E 102° 39' 53"	12 E 102° 44' 14"	20 E 102° 45' 41"	28 E 102° 39' 53"	36 E 102° 38' 26"
N 24° 53' 54"	N 24° 51' 46"	N 24° 49' 48"	N 24° 45' 52"	N 24° 41' 58"
5 E 102° 41' 20"	13 E 102° 45' 41"	21 E 102° 39' 53"	29 E 102° 41' 20"	37 E 102° 39' 53"
N 24° 53' 44"	N 24° 51' 46"	N 24° 47' 50"	N 24° 45' 52"	N 24° 41' 58"
6 E 102° 42' 47"	14 E 102° 46' 35"	22 E 102° 41' 20"	30 E 102° 39' 07"	38 E 102° 36' 59"
N 24° 53' 44"	N 24° 51' 46"	N 24° 47' 50"	N 24° 44' 55"	N 24° 40' 59"
7 E 102° 44' 14"	15 E 102° 42' 47"	23 E 102° 42' 47"	31 E 102° 36' 59"	39 E 102° 38' 26"
N 24° 53' 44"	N 24° 51' 00"	N 24° 47' 50"	N 24° 43' 56"	N 24° 40' 59"
8 E 102° 45' 41"	16 E 102° 39' 53"	24 E 102° 44' 14"	32 E 102° 38' 26"	40 E 102° 39' 53"
N 24° 53' 44"	N 24° 49' 48"	N 24° 47' 50"	N 24° 43' 56"	N 24° 40' 59"

收稿日期: 2006 04 30; 修订日期: 2007 02 10

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向性项目(KZCX2-YW-426); 国家重点基础研究发展规划项目(2002CB412306) 资助

作者简介: 万能(1978-), 男, 湖北黄石人; 博士研究生; 从事藻类生态生理学研究。E-mail: hbwallon@ihb.ac.cn

通讯作者: 宋立荣, E-mail: lsong@ihb.ac.cn

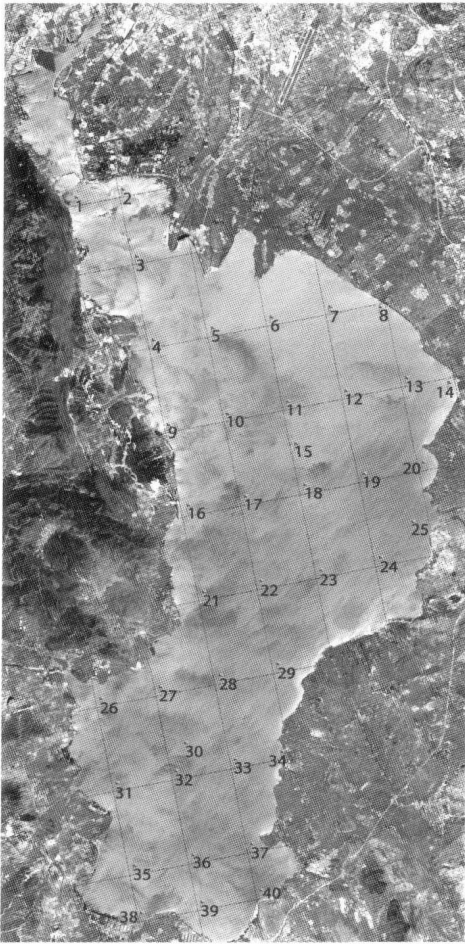


图1 滇池采样位点分布图

Fig 1 Distribution map of the sampling sites in Dianchi Lake

1.2 分析方法

1.2.1 叶绿素 a 将采得的水样摇匀,准确量取一定量的体积(取样量的多少视水体中藻类的多少而定)过滤,滤膜(Whatman GF/C)置于低温避光处保存。采用分光光度法测定叶绿素 a (Chl. a) 的含量^[1]。

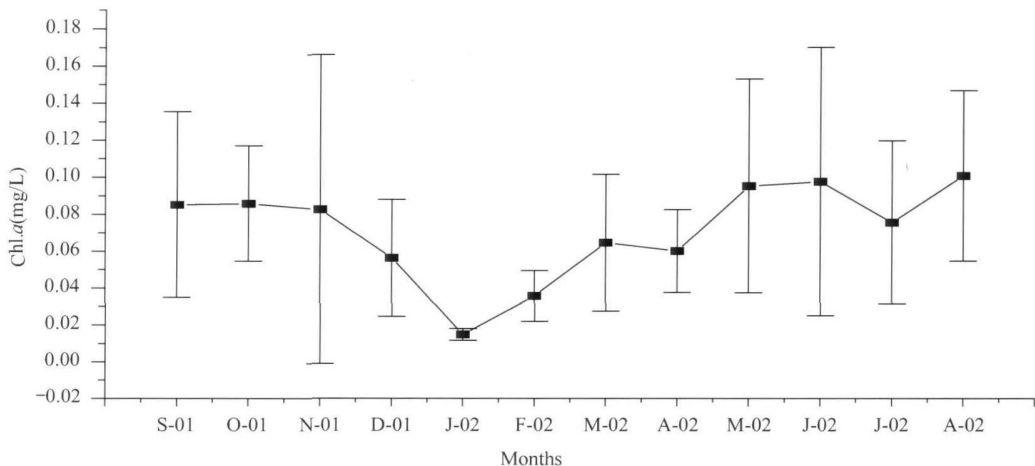
1.2.2 藻类细胞数及种群优势度 藻类计数的样品每两个月采集一次,采样并充分混合后,取 1L 水样,加入 Lugol's 碘液固定。于分液漏斗中静置 48h 后,将沉积于底部的藻类样品收集于 60mL 的塑料小瓶中避光保存,计数前用超声破碎仪(JY92-2)打散细胞团(450w, 40s),取样于血球计数框中计数;除此之外,水体的物理、化学指标 pH、WT、SD、 $\text{NH}_5\text{-N}$ 、TN、TP、DTP、 PO_4^{3-} 、DO、 COD_{Mn} 和 BOD_5 按国标方法分析^[2],其结果已另文发表^[3]。

1.2.3 相关性分析 数据分析使用 SPSS11.0 软件进行了 Pearson 系数的相关性检验。

2 结果

2.1 叶绿素 a 时空差异

在整个周年检测当中,观察到全湖各位点的叶绿素 a 含量的平均值随月份不同而变化,最低值为 2002 年 1 月的 0.015mg/L ,最高值出现在 2002 年 8 月,达 0.1mg/L ^[1](图 2);每个位点的年均值呈现出南低北高的态势,最低出现在 36 号点的 0.049mg/L ,最高出现在 1 号点的 0.216mg/L ,全年的平均值为 0.071mg/L ^[2](图 3)。

图2 滇池叶绿素 a 含量月平值变动Fig. 2 Variations of monthly average values of chlorophyll a in Dianchi Lake

1) 图2 平均数后上下标表示不同位点间差异

2) 图3 平均数后上下标表示不同月份间差异

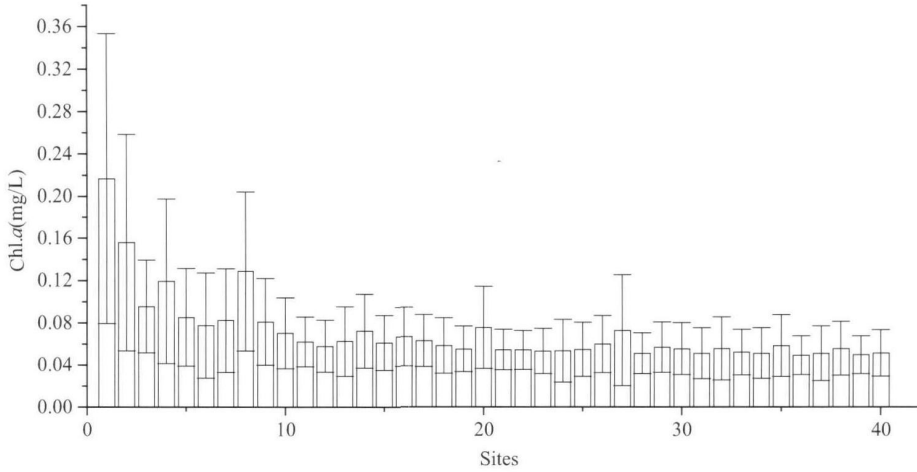


图3 各采样点叶绿素 a 年均值变动

Fig 3 Variations of annual average values of chlorophyll a at different sampling sites

2.2 藻类细胞数与种群优势度

藻类细胞数与叶绿素 a 有着良好的一致性, 随季节的变化有着明显的差异(图4)。就其所有采样点而言, 同样表现出南低北高的分布规律(图5)。蓝藻的优势度在 2001 年 11 月最高达到 100%, 在 2002 年 3 月达到最低值 60.6%。微囊藻(*Microcystis*)、鱼腥藻(*Anabaena*)及束丝藻(*Aphanizomenon*)为主要优势种群。微囊藻属是最常见种, 水华暴发期间, 绝大部分时间以微囊藻水华为主。但是在 2002 年 3 月份的样品中, 观察到了以束丝藻为优势种群的水华(图6)。

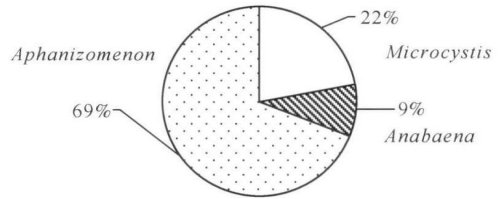


图6 2002年3月滇池主要水华蓝藻种类

Fig 6 Main components of bloom-forming cyanobacterium in Dianchi Lake in March, 2002

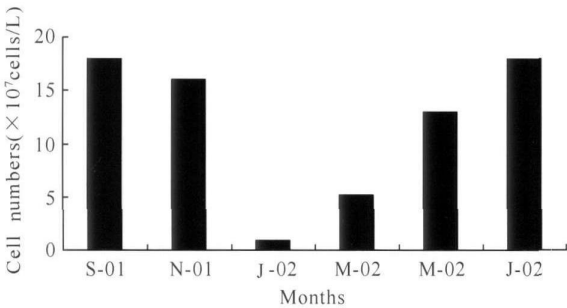


图4 滇池藻类细胞数月均值变动

Fig 4 Variations of monthly average values of cell numbers in Dianchi Lake

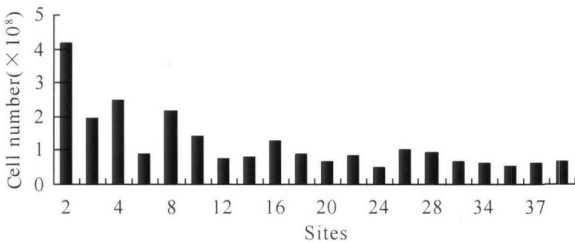


图5 不同位点藻类细胞数年均值变动

Fig.5 Variations of annual average values of cell numbers at different

2.3 相关性分析

整个检测期间, 各点位水温在 10—28℃之间变化, 全湖各点水温平均值处于 11—23℃之间, 年平均水温为 17.2℃。(以采样当日计算) 叶绿素 a 的含量也显示出与之相对应的变化关系, 平均水温与叶绿素 a 呈现极显著相关性, 相关系数为 0.736($p < 0.01$)(图7)。

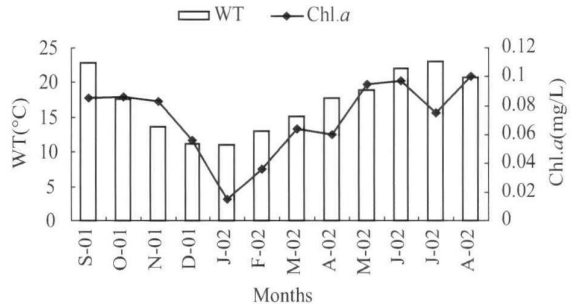


图7 滇池水温与叶绿素 a 含量的周年变动

Fig 7 Annual variations of water temperature and chlorophyll a in Dianchi Lake

叶绿素 a 的含量与 TN 和 COD(均为全年平均值)呈现极显著相关, 其中与 TN 的相关系数为 0.97

($p < 0.01$), 与 COD 的相关系数为 0.929 ($p < 0.01$) (表 2)。其他与 Chl. *a* 显著相关的因子还有 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、透明度。相关系数分别为 0.689 ($p < 0.05$) 和 -0.708 ($p < 0.05$)。TP 与 Chl. *a* 的相关系数仅为 0.272, 没有相关性。

表 2 Chl. *a* 与 TN、 COD_{Mn} 的相关性

Tab. 2 Pearson correlation between Chl. *a* and TN & COD_{Mn}

	TN	COD
Chl. <i>a</i>	0.970**	0.929**

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)

3 讨 论

3.1 叶绿素 *a* 时空差异

叶绿素 *a* 的分布呈现出南低北高的规律。滇池常年盛行西南风, 加快了藻类的水平运动, 从而导致藻类在北部地区堆积, 生物量增高, 可见风向和流场是导致这一分布规律的重要物理因素; 从滇池本身状况而言, 北部湖区是紧邻昆明市区的, 而且处于昆明市下游, 是滇池城市污水的主要入口, 这一点也是很重要的。方涛等对理化指标的分析也得出相同结果, 滇池西北部水质最差, 南部最好^[3]。

3.2 藻类细胞数与种群优势度

藻类细胞数与叶绿素 *a* 的时空差异性是一致的。滇池藻类水华主要是蓝藻水华, 蓝藻的优势度在 2001 年 11 月最高达到 100%, 在 2002 年 3 月达到最低值 60.6%。蓝藻的最大优势度并没有在水华暴发严重的夏季出现, 而是在水温不高于 15℃ 的 11 月份出现的。李原等的研究结果也证实了这一点^[4]。这一现象应引起高度重视, 仅从最适生长温度而言, 滇池的微囊藻生活习性已不同于实验室内培养的株系, 它们能适应更广泛的温度范围。这一点也可以从一年四季都能在滇池水体中采集到微囊藻证实。春季应该是浮游植物生物多样性指数最高的季节^[5], 除占优势的蓝藻门外, 绿藻门、硅藻门和隐藻门的一些属也成为水华的贡献者。

3.3 Chl. *a* 的相关性检验

全年中叶绿素 *a* 含量变化情况与水温的变化情况有极显著相关, 相关系数为 0.736 ($p < 0.01$), 由此可见, 温度是能影响藻类生物量的关键物理因素。表征有机污染物浓度的氨氮 ($\text{NH}_3\text{-N}$) 及 COD_{Mn} 与 Chl. *a* 的含量显著相关, 尤其是后者相关系数达到 0.929, 为极显著相关。

本研究结果显示, 在滇池水体中, 温度和风向是影响藻类时空分布差异性的主要气候因素。P 一直以来被认为是淡水湖泊中藻类生长繁殖的限制因子, 但本研究结果显示氮已经超过磷的作用, 成为影响藻类生物量的主要因子。据此推测以目前滇池的营养水平而言, P 的含量已经大大超过了藻类生长所需 ($P_{\text{max}} > 0.5 \text{mg/L}$), 所以不成为限制滇池藻类生长的主要因子。同时, 调查结果表明滇池水体(尤其是西北部)有机污染程度严重, 且有机污染程度与藻类生物量极显著相关, 这一现象亟需引起政府及广大环保工作者的重视。

参考文献:

- [1] Specification for lake eutrophication survey (2nd Edition) [M]. Environmental Science Press of China. 1990 [湖泊富营养化调查规范(第二版). 中国环境科学出版社. 1990]
- [2] Editorial Board of 'Monitor and analytical method of water & waste water'. Monitor and analytical method of water & waste water (4th Edition) [M]. Environmental Science Press of China. 2002 [《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法(第四版). 中国环境科学出版社. 2002]
- [3] Fang T, Ao H Y, Liu J T. The spatio-temporal of water environmental status in Dianchi Lake [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2004, 28(2): 124-130 [方涛, 敖鸿毅, 刘剑彤. 滇池水体理化环境状况时空分布格局研究. 水生生物学报, 2004, 28(2): 124-130]
- [4] Li Y, Zhang M, Wang R N. The temporal and spation variation of the cyanobacteria which caused the water bloom in the Dianchi Lake, Kunming, China [J]. *J. Yunnan University (Nature Science)*, 2005, 27(3): 272-276 [李原, 张梅, 王若南. 滇池的水华蓝藻的时空变化. 云南大学学报(自然科学版), 2005, 27(3): 272-276]
- [5] Zhang M, Li Y, Wang R N. The research of biodiversity for the species of phytoplankton in Dianchi Lake, Kunming, China [J]. *J. Yunnan University (Nature Science)*, 2005, 27(2): 170-175 [张梅, 李原, 王若南. 滇池浮游植物的生物多样性调查研究. 云南大学学报(自然科学版), 2005, 27(2): 170-175]

THE SPATIO TEMPORAL DISTRIBUTION OF ALGAL BIOMASS IN DIANCHI LAKE AND ITS IMPACT FACTORS

WAN Neng^{1,2}, SONG Li-Rong¹, WANG Ruo-Nan³ and LIU Jiar-Tong¹

(1. State Key Laboratory of Freshwater Ecology and Biotechnology, Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072;

2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049;

3. School of Life Science, Yunnan University, Kunming 650091)

Abstract: Dianchi Lake is a typical plateau, unstratified, eutrophic lake in southwest of China. It has been seriously polluted in the past decades. And it had not been investigated in the whole lake for phytoplankton since 1980s. Thus, a project was carried out to find out what happened to the phytoplankton biomass and its regime dominance in the lake now.

In this study, Chlorophyll *a* (Chl. *a*) had been monthly investigated according to the national standard method at 40 sites in Dianchi Lake from September, 2001 to August, 2002. Cell density and phytoplankton species composition had been investigated bimonthly as well. The results showed that Chl. *a* increased from 0.015mg/L to 0.10mg/L (monthly average values) during January to August, 2002. Correspondingly, water temperature increased from 10 °C to 28 °C. Chlorophyll concentrations of the south sites were lower than the north ones. Site one had the highest chlorophyll *a* value in all sites. We concluded that the southwest prevailing over the Dianchi Lake played a very important role. The horizontal movement of phytoplankton should be wind induced. The water blooms mainly composed by cyanobacterial species. The percentage sometimes reaches to 100%. And *Microcystis aeruginosa* was the most common species. But in the spring of 2002, the dominance species was changed. *Aphanizomenon* spp. became dominant (69%) in March. It showed an obvious evidence for the seasonal succession. Moreover, the investigation indicated that the Pearson Correlation were high significant between chlorophyll *a* and water temperature (0.736, $p < 0.01$), total nitrogen (0.970, $p < 0.01$) and chemical oxygen demand (0.929, $p < 0.01$). Therefore, we concluded that phosphorus was no longer the limited nutrition factor in Dianchi Lake to phytoplankton growth, nitrogen has taken the place. COD_{Mn}, which is considered the token of organism population level, become the main chemical factor affecting the algal biomass. All the results indicate that Dianchi Lake is extremely eutrophication now; the blooms can last for 9—10 months in the year; the water is polluted seriously, especially the organic pollution, and it became an important factor which could affect the phytoplankton biomass directly; the species are simplex, *Microcystis*, *Anabaena* and *Aphanizomenon* were the most popular bloom-forming cyanobacteria.

Key words: Biomass; Chlorophyll *a*; Spatio-temporal distribution; Correlation