

滇池北部重点水域蓝绿藻季节性变动下水体 N:P 比值变化研究

何 锋^{1,2}, 段昌群², 杜劲松¹, 韩亚平¹, 郭艳英¹, 潘 珉¹, 宋任彬¹

(1. 昆明市滇池生态研究所, 昆明 650228;

2. 云南大学生命科学学院暨云南生物资源保护与利用国家重点实验室培育基地, 昆明 650091)

[摘要] 受多种因素影响,滇池外海北部水域为蓝藻富集区。调查研究了蓝藻生物量季节性变动规律,对区域原水(不过滤)和净水(过滤了藻类)中 N 和 P 含量的变化也进行了监测。目的是研究蓝藻季节性消长对水体 N 和 P 含量的影响。结合生态化学计量学理论和方法,分析两者之间的关系。研究表明,4—11 月,为蓝藻水华爆发的时段,其中以 5—9 月最为严重。通过分析,水体 N 和 P 随蓝藻生物量呈现相应变动规律,水体叶绿素和 TN,TP 之间都呈现正相关关系,相关系数分别为 0.955 和 0.952。利用生态化学计量学分析,蓝藻和水体中 N:P 比值没有固定性,表明蓝藻没有表现出强烈的化学计量特征,而蓝藻的季节性变动也没有导致本区域水体具化学计量特性。通过分析滇池水体 N:P 比值与蓝藻生物量变化之间相关关系,相关系数为 -0.308,表明富营养化水体中 N:P 比率对蓝藻生物量直接影响不大。因此,只有通过降低水体中 N 和 P 的浓度,才能控制蓝藻的爆发。

[关键词] 滇池;蓝绿藻;N:P 比值;变化;生态化学计量学

[中图分类号] X524 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2010)06-0094-05

1 前言

滇池位于云贵高原中部,面积约 300 km²,是中国第六大淡水湖,地处长江、红河、珠江三大水系分水岭地带,属于长江水系^[1]。随着流域内人口的增长及城市化进程的加快,滇池水质不断恶化,从 1992 年起滇池开始大规模爆发蓝藻水华。近年的滇池监测数据表明,滇池水华问题日趋严重。滇池水华多发生于海埂、晖湾一带,盛时延伸至观音山^[2]。滇池外海北部水域位于昆明主城区下游,人口密度大,水体污染负荷大,成为滇池污染最为严重的水体区域。在夏秋季节,该水域蓝藻水华大量暴发,且因受主导风西南风及滇池湖流影响,致使滇池外海北部离湖岸约 200 m 的水域蓝藻水华大量富集,使该区域成为蓝藻水华发生最为严重的区域,严

重影响了滇池水体生态环境。

“化学计量学”指的是化学反应里,反应物和生成物中,元素的比例模型,是利用限定比例法则和物质守恒定律进行研究的化学分支学科^[3]。近年来,生态化学计量学在湖泊富营养化研究中有了深入发展,推动了从元素到生物圈水平尺度的研究^[3,4]。在对滇池蓝藻季节性变动研究中,利用生态化学计量学方法研究 N:P 比值变化,将能进一步有助于分析蓝藻的变化特性,为分析湖内营养物质循环有极大作用和意义^[5~7]。

2 材料与方法

2.1 采样点位布置及样品采集

采样点布置:以滇池北部蓝藻常年爆发和富集的水域为主要研究对象,范围为从海埂公园南门经

[收稿日期] 2009-12-20

[基金项目] 国家重大水专项湖泊主题滇池第四课题(2009ZX07102)

[作者简介] 何 锋(1978-),男,云南大理市人,博士研究生,主要研究方向为污染及恢复生态学;E-mail: hfhunter@163.com

船闸到晖湾西端的近岸约 200 m 的区域。如图 1 所示:在滇池外海蓝藻分布的主要区域,布设 5 个水环境采样点,以样点附近地点命名为:公安码头、索道站、船闸、海埂和山邑村。此外,在距离公安码头约 3 km 处的湖中设一个对照点。

研究时段及采样频次:2008 年 1 月到 2008 年 12 月为一个研究周期,在蓝藻爆发的淡季(1,2,3,4,11,12 月),每个月采样 1 次,而蓝藻爆发的重点时期(5 月至 10 月),每个月采样 3 次。

样品采集方法:采用有机玻璃取样桶,采集了 0~0.5 m 水样,每个样点区域采集 3 个平行样,带回实验室,当天进行分析。

2.2 分析项目及方法

分析项目:将原水摇匀,分析原水中 TN, TP, Chl-a;把原水用定量滤纸抽滤,取过滤出的净水,分析 TN, TP 的浓度。水体总氮用碱性过硫酸钾消解—紫外分光光度法(GB11894-89);水质总磷用钼酸铵分光光度法(GB11893-89);蓝藻叶绿素采用丙酮提取双波长分光光度法^[8,9]。

根据测定结果,利用 Excel 及 SPSS 等数理统计软件分析未过滤水和过滤水中 TN, TP 以及 N:P 比值的月季动态变化,并分析这些指标与水体藻类之间的关系。

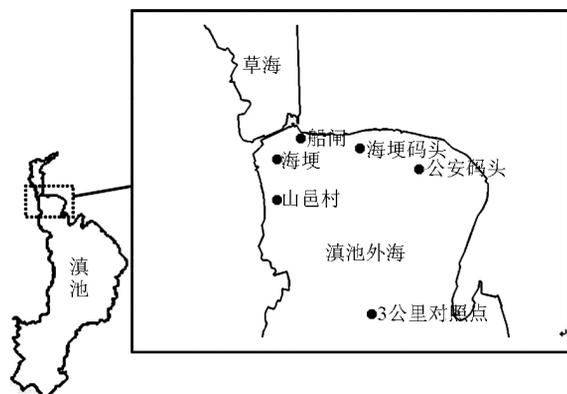


图 1 蓝藻清除区域及水环境监测点
Fig. 1 The key area of Blue-green algae blooming and water quality monitoring sites

3 结果与分析

3.1 蓝藻月季动态变化

根据对藻类的定性和定量分析,研究区域的藻类均以蓝藻门占绝对优势,其中以微囊藻(Microcystis)为优势种群,占据水体藻类生物量的 90% 以上。

衡量水体中藻类数量的多少,目前主要用单位体积中藻的个数和水质叶绿素浓度来表示。由于水质叶绿素测定相对便捷准确,因此,目前常把水体中叶绿素 a 含量作为表征水体中藻类的生物量的重要指标。

1) 对照点蓝藻月季动态变化。通过对滇池外海 3 km 对照点全年水质进行监测,其结果表明:1—3 月及 9—12 月为藻量的低潮期,而从 4—8 月,藻量相对较高,但水质叶绿素全年相对趋于稳定,变化不是特别剧烈。与蓝藻富集区水质叶绿素含量相比,对照点水质月均叶绿素含量大大低于蓝藻富集区水质叶绿素含量。对照点水质叶绿素月季动态变化状况如图 2 所示。

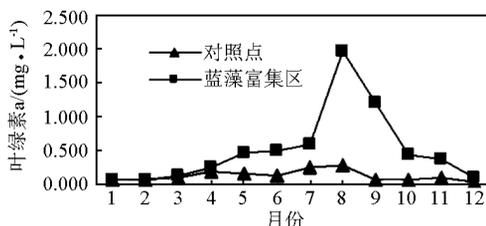


图 2 对照点及蓝藻富集区水质叶绿素 a 月季动态变化状况

Fig. 2 The variation of Chl-a concentrations both in control site and the key area of blue-green algae blooming

2) 滇池外海北部蓝藻富集区藻类生物量月季动态变化。对滇池外海北部蓝藻富集区水质叶绿素进行全年监测。结果表明:从 1—3 月及 12 月为藻量的低潮期,接近对照点的水平,4—11 月为藻量的高潮期,其中 8 月达到最高峰,平均水质叶绿素为 1 978 g/L。在藻量高潮期,蓝藻富集区水质叶绿素月均浓度均远高于同期对照点浓度,显示出强烈的季节变动性。其变化状况如图 2 所示。

3.2 滇池外海北部水域水质 TN, TP 及 N:P 比值月均变化

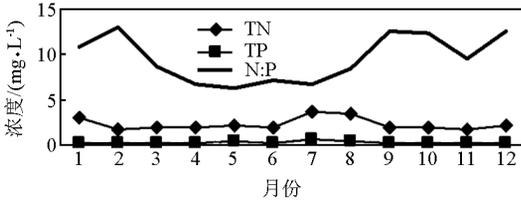
1) 对照点水质 TN, TP 及 N:P 比值月均变化。研究表明,滇池外海对照点水质 TN 和 TP 全年波动相对平缓。TN 月均变化范围为 1.71~3.68 mg/L, TP 月均变动范围为 0.131~0.410 mg/L, N:P 比值范围为 6.38~13.1。如图 3 所示,在 7,8 月份,水质 TN 和 TP 浓度有上升趋势,而在 4—8 月,水质 N:P 比值略有下降趋势。从 4—8 月,水质叶绿素含量相对升高,表明蓝绿藻生物量增加。藻类对氮和磷均有富集作用,尤其是对磷的富集作用突出,才导致了

该时段 N:P 比值的降低。

2) 蓝藻富集区原水中 TN, TP 及 N:P 比值月均变化。监测结果如图 4 所示, 2008 年 1 月到次年 4 月, 水体总氮基本在 2~4 mg/L。4 月以后, 水体总氮含量急剧上升, 8 月达最高, 为 17.2 mg/L。8—12 月, 随水温下降之后, 总氮也急剧下降。水体中总氮含量的季节变化趋势与蓝藻生物量的季节变化趋势相似。

水体总磷也体现出类似的变化趋势, 从 2008 年 4 月开始, 水体总磷急速上升。8 月达最高, 为 2.9 mg/L。8—12 月, 随水温下降之后, 总磷也急剧下降。水体中总磷含量的季节变化趋势与蓝藻生物量的季节变化趋势相似。

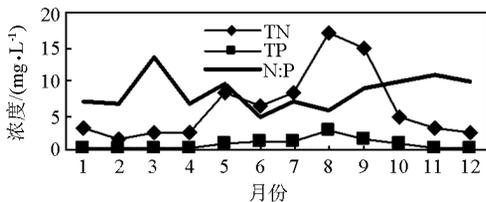
计算水体 TN 和 TP 月均浓度的比值, 发现 N:P 比值月均变化范围为 4.78~13.5, 其季节变化无明显规律, 表明水体中没有稳定的 N:P 比值, 蓝藻的季节变化没有导致水体具有稳定的化学计量特性。



注: N:P 比值为无量纲

图3 对照点水体 TN, TP 及 N:P 比值月季动态变化

Fig. 3 The monthly variation of TN, TP and N:P ratio in control site



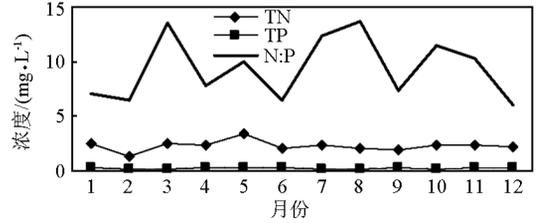
注: N:P 比值为无量纲

图4 滇池外海蓝藻富集区原水 TN, TP 及 N:P 比值月季动态变化

Fig. 4 The monthly variation of TN, TP and N:P ratio in original water of the key area of blue-green algae blooming

3) 蓝藻富集区过滤水中 TN, TP 及 N:P 比值月均变化。监测研究结果见图 5, 研究表明, 在滇池外海北部蓝藻富集区过滤水中, TN 和 TP 全年波动相

对平缓, TN 月均变化范围为 1.31~2.54 mg/L, TP 月均变动范围为 0.153~0.362 mg/L, N:P 比值范围为 6.42~13.7。表明水体没有稳定的 N:P 比值。



注: N:P 比值为无量纲

图5 滇池外海蓝藻富集区过滤水 TN, TP 及 N:P 比值月季动态变化

Fig. 5 The monthly variation of TN, TP and N:P ratio in the filtered water of the key area of blue-green algae blooming

3.3 蓝藻季节性变动对水体 N:P 比值影响分析

1) 对照点蓝绿藻月季动态变化与 TN, TP 及 N:P 比值间相关性分析。水体叶绿素含量是衡量水体蓝藻生物量的主要指标, 通过对外海对照点水体叶绿素浓度与 TN, TP 及 N:P 比值间相关性分析, 如表 1 所示, 结果表明: 水体叶绿素浓度与水体 TN, TP, 呈现明显的正相关关系, 相关系数分别为 0.692 和 0.881; 与原水 N:P 比值呈现负相关性, 相关系数为 -0.711; 而与过滤水的 N:P 比值呈正相关关系, 相关系数为 0.526。

2) 外海北部重点水域蓝藻月季动态变化与 TN, TP 及 N:P 比值间相关性分析。通过对外海北部重点水域水体叶绿素浓度与 TN, TP 及 N:P 比值间相关性分析, 如表 1 所示, 结果表明: 水体叶绿素浓度与水体 TN, TP, 呈现极其显著的正相关关系, 相关系数分别为 0.955 和 0.992; 与原水 N:P 比值相关系数为 -0.308, 相关不显著; 与过滤水的 N:P 比值相关系数为 0.420。从相关性上看, 可分析出蓝藻对水体的氮和磷具有很强的吸收能力, 并且蓝藻的季节性变动将主导水体 TN 和 TP 浓度的变化。

表1 水体叶绿素与 TN, TP 及 N:P 比值间的相关系数

Table 1 Correlation analysis between Different factors

项目	TN	TP	原水 N:P 比值	过滤水 N:P 比值
对照点 Chl-a	0.692	0.881	-0.711	0.526
蓝藻富集区原水 Chl-a	0.955	0.952	-0.308	0.420

4 结语

对滇池北部蓝藻富集的重点区域进行了 12 个月的研究,通过对数据的分析,结合相关研究结果,得出如下的结论:

1) 滇池北部水域的所有研究点在研究时段内,水质总氮和总磷含量均达到地表水 V 类或 V 类标准以上,氮磷浓度远远超过蓝藻大爆发所需的浓度水平。水体总氮、总磷在秋冬季节月季变化不太明显,但是从 4 月份开始,水体总氮变动幅度大,到 8 月份达到最高值。对照点水体氮磷全年变化相对平缓。

2) 监测研究结果表明,滇池外海北部蓝藻富集的重点区域,藻类均以蓝藻门占绝对优势,全年以微囊藻(*Microcystis*)为优势种,这与李原等(2005 年)关于滇池蓝藻种类季节性分布状况相符^[10]。每年 4—11 月份,滇池北部水域叶绿素含量普遍都高,与光照、水温及主导风向和湖流都有关。刘丽萍(1999 年)对滇池蓝藻成因进行分析,蓝藻消长和分布特征和笔者研究总体相似^[2]。孔繁翔(2005 年)对大型浅水湖湾蓝藻复苏影响因素也进行了综合阐述,涉及蓝藻生物特性、水质、光照、水温及主导风向和湖流等几个方面的因素^[11]。

3) 在滇池外海北部蓝藻富集区域,水体叶绿素浓度与水体 TN, TP, 呈现极其显著的正相关关系,相关系数分别为 0.955 和 0.992; 与原水 N:P 比值相关系数为 -0.308, 相关不显著; 与过滤水的 N:P 比值相关系数为 0.420。从相关性上看,可分析出蓝藻对水体的氮和磷具有很强的吸收能力,并且蓝藻的季节性变动将主导水体 TN 和 TP 浓度的变化。

在国内外早期和近期研究中,关于水体中 N 和 P 对蓝藻爆发的影响的研究取得了很大进展,很多研究发现,合适的 N:P 浓度比值对蓝藻的增长有很大的影响^[12-14],合适的比值有的认为是 7.2^[14]。而滇池北部水域,原水 N:P 比值范围为 4.78 ~ 13.5, 过滤水 N:P 比值范围为 6.42 ~ 13.7。表明蓝藻富集区水体中没有稳定的 N:P 比值,也就没有显著的生态化学计量特性。水体叶绿素与 N:P 比值相关系数为 -0.308, 无明显相关性。表明在蓝藻富集严重的区域,蓝藻生物量与 N:P 比值间无明显相关性,蓝藻生物量的富集受环境因子的综合影响^[15-17]。

4) 对照点水体 N:P 比值范围为 6.38 ~ 13.1, 也

表明水体中没有稳定的 N:P 比值。但水体叶绿素和 N:P 比值间有明显的负相关关系,相关系数为 -0.711。J. J. Elser et al. (2000) 认为,在生物增长和迅速生长阶段,将需要摄入大量的磷酸盐,以利于形成足够 RNA 模板,以合成各种蛋白质。如此以来,使体内磷的含量相对升高,导致 N:P 比下降^[18,19]。

总之,对于富营养化湖泊,在 N 和 P 浓度超出蓝藻爆发的水平后,由于水体和淡水藻类无明显的 N:P 化学计量特性。但生态化学计量学的理论在研究湖泊生态系统物质循环中是具有重要的作用和意义^[20]。由于在适宜的水温、光照条件下,蓝藻爆发的根本性制约因子为富营养化水体中的氮和磷浓度。而水体 N:P 比值的变化受生物因素和非生物因素的综合影响,直接与蓝藻生物量间关联性不显著。因此,在湖泊治理中,只有通过降低水体 N, P 浓度,才能从根本上控制蓝藻水华的爆发。

参考文献

- [1] 杨一光, 杨桂华. 滇池自然地理概要[J]. 云南大学学报(自然科学版), 1985, 7(增刊): 1-8
- [2] 刘丽萍. 滇池水华特征及成因分析[J]. 环境科学研究, 1999, 12(5): 36-37
- [3] Sterner R W, Elser J J. Ecological Stoichiometry - The biology of elements from molecules to the biosphere[M]. Princeton University Press, Princeton. 2002
- [4] 王绍强, 于贵瑞. 生态系统碳氮磷元素的生态化学计量学特征[J]. 生态学报, 2008, 8, 28(8): 3937-3947
- [5] Sterner R W. Seasonal and spatial patterns in macro and micro nutrient limitation in Joe Pool Lake[J]. Texas Limnol Oceanogr, 1994, 39: 535-550
- [6] Sterner R W, Smutka T M, Mckay R M L, et al. Phosphorus and trace metal limitation of algae and bacteria in Lake Superior. Limnol[J]. Oceanogr, 2004, 49: 495-507
- [7] Sterner R W, Andersen T, ELSE J J, et al. Scale - dependent carbon:nitrogen:phosphorus seston stoichiometry in marine and freshwaters. Limnol[J]. Oceanogr, 2008, 53: 1169-1180
- [8] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法编委会编. 水和废水监测分析方法. 第 4 版[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002
- [9] 谢贤群, 王立军. 水环境要素观测与分析[M]. 北京: 中国标准出版社, 1998
- [10] 李原, 张梅, 王若南. 滇池的水华蓝藻的时空变化[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2005, 27(3): 272-276
- [11] 孔繁翔, 高光. 大型浅水富营养化湖泊中蓝藻水华形成机理的思考[J]. 生态学报, 2005, 25(3): 589-595
- [12] Smith V H. Low nitrogen to phosphorus ratios favor dominance by blue green algae in lake phytoplankton[J]. Science, 1983, 221:

- [13] Smith V H. Light and nutrient effects on the relative biomass of blue green algae in lake phytoplankton[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 1986,43:148 - 153
- [14] Smith V H, Bennett S J. Nitrogen: phosphorus supply ratios and phytoplankton community structure in lakes [J]. Archiv für Hydrobiologie, 1999, 146:37 - 53
- [15] 陈善娜,陈小兰,刘开庆,等. 水华蓝藻生消的生物数学理论及其应用[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2005, 27(2): 161 - 165
- [16] 王绍强,于贵瑞. 生态系统碳氮磷元素的生态化学计量学特征[J]. 生态学报,2008,8, 28(8):3937 - 3947
- [17] Zhang Lixia , Bai Yongfei , Han Xingguo . Application of N:P Stoichiometry to Ecology Studies [J]. Acta Botanica Sinica, 2003, 45 (9) : 1009 - 1018
- [18] Elser J J, Gorokhova E, Sterner R W , et al. Biological stoichiometry from gene to ecosystem[J]. Ecology Letters, 2000,3:540 - 550
- [19] Elser J J, Acharya K, Kyle M , et al. Growth rate - stoichiometry couplings in diverse biota[J]. Ecology Letters, 2003,6: 936 - 943
- [20] Jeyasingh P D, Weider L J. Fundamental links between genes and elements: evolutionary implications of ecological stoichiometry[J]. Molecular ecology, 2007, 22 (16): 4649 - 4661

Investigation on the N:P ratio varying under the blue-green alga seasonal blooming in north area of Outer Dianchi Lake

He Feng^{1,2}, Duan Changqun², Du Jinsong¹, Han Yaping¹,
Guo Yanying¹, Pan Min¹, Song Renbin¹

(1. Kunming Institute of Ecology of Dianchi Lake, Kunming 650228, China;
2. Laboratory for Conservation and Utilization of Bio-Resource & School of Life Sciences, Yunnan University, Kunming 650091, China)

[Abstract] For several reasons, the north area of the Dianchi Lake is prolific of blue-green alga. In this paper, the dynamic biomass of alga was investigated. Both of the concentrations of N and P in original water and in filtered water were also be monitored. The aim of the study is to figure out the alga's influence on the concentrations of N and P in the water, and to analyze the relationship between them by using the method of ecological stoichiometry. It is disclosed that from April to November is the main stage of alga blooming. Especially, alga blooms seriously and is uncontrolled from May to September. By data analysis, we find that the concentrations of N and P vary conforming to the dynamic of the biomass of alga, and there is positive correlation-ship between them. The correlation co-efficient between the concentrations of N in water and alga's biomass is 0.955, between the concentrations of P in water and alga's biomass is 0.952. By taken the method of stoichiometry analysis, we find both the N:P ratios of alga and water are not constant, and both of them have no significant ecological stoichiometry of the N:P ratio. We also made correlation-ship analysis between the N:P ratio of water and biomass of alga. The correlation-ship between them is -0.308, which illustrats that the biomass of alga is not related to the N:P ratio of water. Thus we can declare that there is only one most efficient way to control blue-green alga booming, to reduce the concentration of N and P in water of eutrophic lakes.

[Key words] the Dianchi Lake; blue-green alga; the N:P ratio; variation; ecological stoichiometry