

洪泽湖水质富营养化评价

王兆群¹, 张宁红², 张咏², 刘振坤¹, 周卫华¹
(1. 淮安市环境监测中心站, 江苏 淮安 223001; 2. 江苏省环境监测中心, 江苏 南京 210036)

摘 要: 对洪泽湖及其入湖河流水质现状进行了评价, 得知洪泽湖及其入湖河流总体水质为劣 V 类, 影响两者水质的主要污染物为总磷和总氮。对洪泽湖浮游植物的时空分布及相关因子进行分析, 得知洪泽湖目前为轻富营养水平。最后对洪泽湖第一次发生蓝藻聚集现象的原因进行了分析。

关键词: 水质; 浮游植物; 富营养化; 蓝藻聚集

中图分类号: X 82 文献标识码: B 文章编号: 1674-6732(2010)-06-0031-05

Eutrophication Assessment of Water Quality in Hongze Lake

WANG Zhao-qun¹, ZHANG Ning-hong², ZHANG Yong², LIU Zhen-kun¹, ZHOU Wei-hua¹
(1. Huaian Environmental Monitoring Central Station, Huaian, Jiangsu 223001, China; 2. Jiangsu Provincial Environmental Monitoring Center, Nanjing, Jiangsu 210036, China)

ABSTRACT: The water quality of Hongze Lake and its into-lake river was assessed as worse than Grade V. The main pollutants were total nitrogen and total phosphorus in the lake. Hongze Lake was at light eutrophication level by analysis on spatial-temporal distribution of phytoplankton and involved factors. Finally, reason for first blue-green algae bloom in Hongze Lake was discussed.

KEY WORDS: water-quality; phytoplankton eutrophication; blue-green algae gathered

1 洪泽湖概况

洪泽湖是中国第四大淡水湖泊, 位于江苏省西北部淮安、宿迁两市境内, 其水域面积 1 597 km², 平均水深 1.9 m, 容积 30.4 × 10⁸ m³。洪泽湖湖盆呈浅碟形, 其总趋势为西高东低, 湖盆由西北向东南倾斜; 入湖的主要河流有淮河、新汴河、淮洪新河、濉河、徐洪河等, 分布于洪泽湖的西岸, 出湖河道主要是东岸的三河入江水道、淮沭新河和苏北灌溉总渠^[1]。洪泽湖是具有防洪、灌溉、调水、水产、水运等综合利用功能的平原浅水型湖泊, 也是南水北调东线工程的重要调蓄水库。

2 洪泽湖及其入湖河流水质状况

2.1 洪泽湖水水质现状

在洪泽湖共设置 9 个监测点, 分别为蒋坝镇、成河乡中、临淮乡、老山乡、高涧镇、龙集乡北、成河乡东、成河乡西、成河乡北。2009 年洪泽湖总体水质为劣 V 类, 超标项目为总氮和总磷。9 个测点总磷和总氮超标率均为 100%, 总氮最高年监测均值出现在老山乡、龙集乡北、成河乡东测点; 总磷最高年监测均值出现在临淮乡、老山乡、成河乡中测点。

通过水质评价得出, 2009 年洪泽湖综合污染指数均值为 12.07, 该值最高点出现在临淮乡测点(13.07)和成河乡西测点(12.63), 该值最低点出现在高涧镇测点(11.4)。与 2008 年相比, 该值上升了 1.63。

2.2 入湖河流水质状况

2009 年洪泽湖入湖河流总体表现为 V 类和劣 V 类, 其中濉河和淮洪新河为 V 类, 淮河、老汴河、新濉河和徐洪河为劣 V 类。以上河流的主要污染物皆为总磷和总氮。

3 洪泽湖浮游植物群落结构特点

3.1 种类组成

2009 年共监测到藻类 217 种, 涉及 7 个门, 分别为蓝藻、硅藻、绿藻、隐藻、裸藻、甲藻、黄藻。其中蓝藻 63 种, 占 29.0%, 硅藻 53 种, 占 24.5%, 绿藻 81 种, 占 37.3%, 其他 4 种, 占 9.2%。

收稿日期: 2010-01-15; 修订日期: 2010-01-18
基金项目: 江苏省环境监测科研基金项目(0908)。
作者简介: 王兆群(1968—), 男, 高级工程师, 本科, 从事生物监测工作。

全湖性分布的种类:蓝藻门中的微囊藻、蓝纤藻,硅藻门中的小环藻,绿藻门中的小球藻等在各采样点出现率达 100%。一般湖区都有分布的种类:蓝藻门中的色球藻、颤藻,硅藻门中的直链藻、舟形藻,绿藻门中的栅藻、纤维藻,等等。在较多采样点出现的种类:蓝藻门中的尖头藻、隐球藻,绿藻门中的新月藻、弓形藻,等等。

组成群落的种数,春、秋较多,夏季偏少,绿藻门的种数在各群藻的组成中居首位(图 1)。

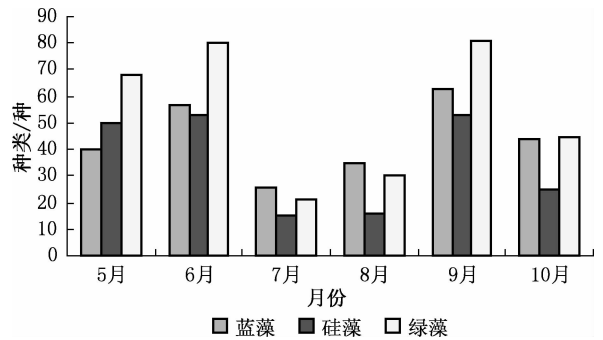


图 1 2009 年 5—10 月主要藻类变化趋势

3.2 数量组成

蓝藻门在时空分布上均占绝对优势(表 1),蓝藻藻密度均值约为 1.36×10^6 个/L,在年平均总量中占 85.7%,数量居各类之冠,蓝藻单月最大值出现在 7 月份。在成河乡中测点,优势种为微囊藻属,藻密度达 4.05×10^6 个/L,占当月该测点总数的 67.3%。

时间	表 1 2009 年洪泽湖浮游植物数量组成 的时间变化						藻密度 × 10 ⁴ 个/L
	蓝藻	硅藻	绿藻	隐藻	裸藻	其他藻	
5 月	12.49	6.84	9.07	1.43	0.65	0.01	30.49
6 月	21.50	9.27	27.45	2.03	0.78	0.02	61.02
7 月	293.07	3.02	7.47	1.58	0.84	0.11	305.88
8 月	211.42	3.60	6.90	3.10	1.44	0.10	226.46
9 月	93.43	20.00	49.56	5.78	2.49	0.10	195.68
10 月	182.58	3.03	3.51	4.70	1.98	0.12	195.78
年均值	135.75	7.63	17.33	3.10	1.36	0.11	158.34

绿藻门藻量占年均总量的 10.9%,绿藻全年表现为双峰型,6 月和 9 月藻密度较大,藻密度均值为 17.33×10^4 个/L,单月最大值出现在 9 月份。在老山乡测点,优势种为杆裂丝藻,藻密度达 2.3×10^4 个/L,占当月该测点总数的 1.72%。

硅藻门藻量占年均总量的 4.8%,藻密度均值为 7.6×10^4 个/L,单月最大值出现在 9 月份。在高涧镇测点,优势种为北方羽纹藻,藻密度为 2.3×10^4 个/L,占当月该点总数的 1.55%。蓝藻、绿藻、硅藻藻密度变化见图 2。

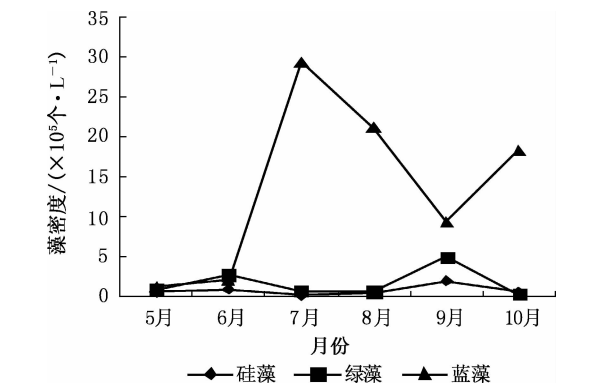


图 2 2009 年 5—10 月蓝藻、硅藻、绿藻藻密度变化

隐藻门、裸藻门、甲藻门、黄藻门等在群落结构中的作用甚微。

3.3 浮游藻类数量及其组成的时空变化

3.3.1 年际变化与时间变化

2009 年洪泽湖平均藻密度为 1.58×10^6 个/L,与 2008 年相比,藻密度数量有较大增加,上升了 172.9%;从 2005—2009 年藻密度的变化轨迹来看,2005—2007 年无明显变化,2008 年有显著变化,2009 年有极显著变化,见图 3。

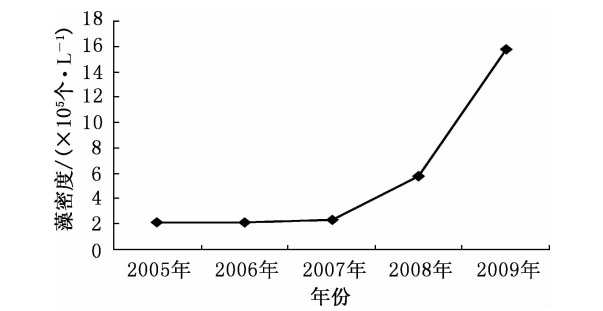


图 3 2005—2009 年洪泽湖藻密度变化趋势

3.3.2 空间分布

从空间分布来看,各监测点藻量分布不均,洪泽湖中部湖区测点藻密度年均值较大,最大值出现在成河乡中、临淮乡、成河乡西测点,分别为 2.28×10^6 , 2.08×10^6 , 1.59×10^6 个/L,最小值出现在成河乡北测点,为 5.64×10^5 个/L(图 4)。

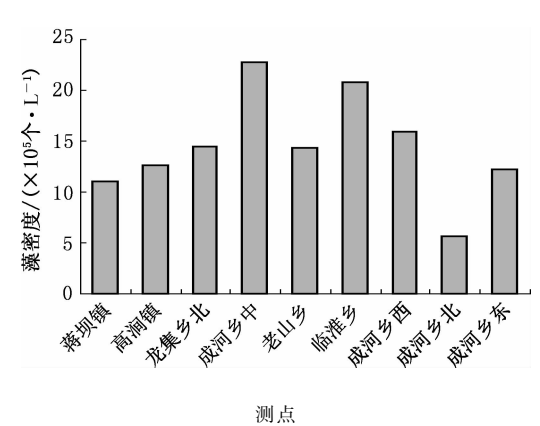


图4 洪泽湖各测点藻密度空间分布

这种藻类分布特点与洪泽湖的湖体结构和水动力学有关。南部淮河来水一是通过马浪岗进入湖区,二是向北由剪草沟进入湖区。北方来水由徐洪河、淮洪新河、老汴河等入湖河流进入湖区,通过苏北灌溉总渠、淮沭新河流出湖区(三河入江水道在4—6月农业用水和在雨季泄洪开启)。南北来水为湖区补水,也将营养物质带入湖体,在夏季将河流中的藻类输入,同时也对湖体底质进行了冲刷,加上东部湖区及成子湖区底质为黏土型,淮河入湖河口至临淮头一带为粉砂型,使湖底沉积物由南北方向向中间聚集,使之成为引起富营养化的内源;另外,出湖河流的引力也将营养物质推向湖中部,在春季、夏季,洪泽湖的主导风向为南风 and 偏南风,风将浮游藻类吹向中部和西部,致使以上地区年均藻密度值较大。

3.3.3 氮磷比及洪泽湖藻类生长的限制性因子

洪泽湖浮游植物群落中蓝藻优势的形成和夏、秋季藻类数量消长,是多种生态因子综合作用的结果,其中水化学成分、湖水光学特性、温度、太阳辐射强度及水文条件等起着重要作用,各因子也有相互作用和叠加效应。对洪泽湖藻类生物量与有关因子的回归分析表明,从长期看,洪泽湖水体中总磷、水温、风速风向等因子对藻类的增殖和分布起决定作用,生物量与这些因子有较强的相关性,叶绿素a与水温有极显著关系, $y = 4.154\ 3x - 11.182$,其相关系数 $r = 0.454\ 5(P < 0.01, n = 100)$;叶绿素a与总磷有较好的线性关系, $y = 0.010\ 5x + 0.099\ 7$,其相关系数 $r = 0.203\ 1(P < 0.05, n = 100)$;叶绿素a与总氮的平方有线性关系, $y = 1.393\ 1x - 3.387$,其相关系数 $r = 0.165(P < 0.10, n = 100)$ 。

根据藻类化学成分的经验分析,细胞原生质所含氮磷比为7.2。有学者指出,湖水中氮磷比在10~15时对藻类增殖最为有利^[2]。洪泽湖氮磷比在12~16间,因此对洪泽湖而言,磷是决定其富营养化程度的限定因子。总氮年际、年内变化幅度不大,总磷有较大幅度的增长,与2005年相比,氮磷比从16.4减小到11.6,此外,与2005年相比,氨氮占总氮的份额不断增大,由9.9%上升为22.0%,这一趋势表明,洪泽湖近年来营养性污染物的污染未得到有效控制,上游来水中既有生活污水的污染,也有农业面源的污染。

4 洪泽湖富营养化程度的判别与评价

4.1 参数评价

4.1.1 氮、磷指标

在表征湖泊营养状态的参数中,对洪泽湖来讲氮、磷是关键指标。根据坂本提出的标准,洪泽湖2009年总磷质量浓度年均值0.19 mg/L,为富营养上限值的2.11倍,总氮质量浓度年均值为2.40 mg/L,为营养上限的1.85倍。据此,洪泽湖水质为富营养状态^[2]。

4.1.2 叶绿素a指标

根据坂本的标准,洪泽湖各监测点的叶绿素a质量浓度年均值超过5.0 mg/m³,显然洪泽湖属于富营养状态^[2]。

4.1.3 浮游植物指标

根据辽宁大伙房水库富营养化的标准,洪泽湖各监测点的藻密度年均值超过30万个/L,因此,洪泽湖属于富营养状态^[2]。

4.2 营养状态指数评价

湖泊生态系统是一个复杂的多元系统,变量因素很多。营养概念又是一个多维概念,它包括营养物质负荷、营养盐浓度、初级生产力、湖泊形态特征等,因此不能通过测定一两个参数,而要通过测定叶绿素a、总磷、总氮、透明度和高锰酸盐指数等5项指标,采用综合营养状态指数来确定湖泊营养状态^[3]。

2009年洪泽湖的营养状态指数为58,表现为轻度富营养,从图5可以看出,在丰水期7、8、9月份,洪泽湖富营养化程度明显高于其他月份。

从空间分布来看,成河乡西、临淮乡、老山乡富营养化程度较高,见图6。

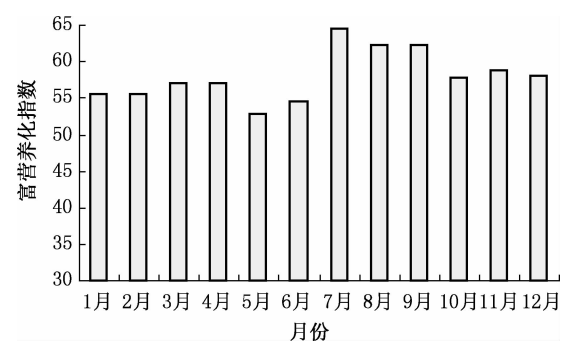


图5 2009年洪泽湖富营养化指数变化

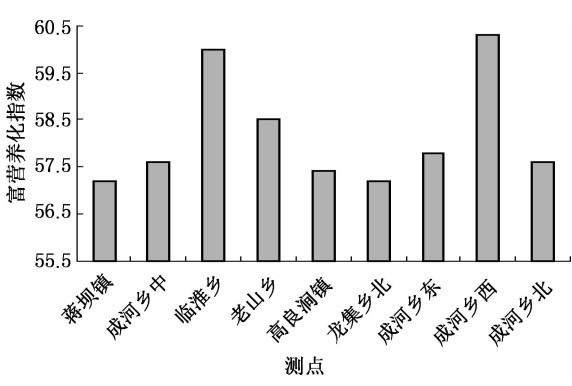


图6 2009年洪泽湖富营养化指数空间分布

5 洪泽湖蓝藻聚集原因

5.1 蓝藻水华形成机制

蓝藻水华的出现，表观现象上是瞬时的爆发，但其本质却是藻类生物量在水体中逐渐增加的过程。有学者提出了蓝藻生长与水华形成经历了越冬休眠、春季复苏、生长、集聚上浮形成水华的四阶段理论，认为在不同阶段，藻类的生理特性不同，影响其发展的主导生态因子也不同^[4]。

陶益和 CAO 等研究表明，藻类的复苏可能与底泥环境中的温度、光照、溶解氧、氧化还原电位密切相关^[5-7]。

近来研究证实，与单细胞相比较，微囊藻群体具有更高的光合效率和对无机碳、磷的利用能力^[8]。微囊藻群体的抗高光强、抗重污染的特性也是群体微囊藻种群优势的形成和维持的重要机制，这是其形成水华并保持优势地位的重要前提。储昭升等的研究表明，富营养化湖泊中由于水体中氮含量的增加会导致微囊藻细胞合成较多的伪空胞，从而有利于蓝藻群体的浮力调节，使其具有更强的对表层光和无机的竞争力，这可能也是水华蓝藻形成优势的机制之一^[9]。

ZHANG 等从水动力和光照的耦合作用的角度

研究了太湖中微囊藻形成优势种群的机理，发现在风速为 3.1 m/s 条件下，绿藻在水体中趋于均匀分布，硅藻和甲藻则易于沉入下层水体，而微囊藻可以悬浮在水表面到水下 30 cm 这一深度，因此在此种正常的风浪条件下，微囊藻可以获得最多的光能，生长速率最快，在与其他藻类类群竞争中形成优势^[10,11]。

白晓华等的研究表明，当风速为 0 时，藻类仍有漂移速度，此速度为水华由高浓度到低浓度的自由扩散速度；当湖区风场的平均风速为 1.4 m/s 时，藻类在水体中的平均漂移速率为 0.022 m/s；当平均风速为 1.9 m/s 时，漂移速率为 0.029 m/s；当平均风速上升为 2.8 m/s 时，藻类的漂移速率达到 0.114 m/s；而当风速再加大后，水华蓝藻群体与水体充分混和，水平漂移的速率反而下降^[12]。

REYNOLDS 和 SPENCER 等的研究表明，光照条件与蓝藻的上浮聚集、漂移乃至水华形成有着密切关系。随着温度的持续上升（一般在 4—10 月），光照充沛，营养盐浓度较高，其他湖区的大量水华蓝藻在合适的气象与水文因素驱动下上浮，快速漂移到某个局部湖区，堆积形成水华，表层水华强度取决于藻类种群密度。

5.2 洪泽湖蓝藻聚集

2009 年 7 月 2 日，洪泽湖历史上首次出现蓝藻大面积聚集，面积达 125 km²，主要分布在洪泽湖中西部。此次蓝藻形成的原因是：① 自 6 月份以来，上游来水偏少，且夹杂营养盐和蓝藻，湖区蒸发量偏大，使湖区水位下降很快，水体中的营养盐得到浓缩；② 水温适宜藻类生长，较高水温也有助于底泥中的总磷向水体释放，使水体中的营养盐浓度进一步加大；③ 湖区水体换水较缓，使营养物质在湖体中滞留时间过长；④ 风速、波浪较小，有助于水体中的蓝藻向表层上浮、扩散，且在春、夏季，洪泽湖地区的主导风向为南风 and 东南风，在一定水动力条件下会造成蓝藻在特定湖区聚集。

8 月份，进入丰水期，上游来水较多，稀释了河中营养盐的浓度。与 7 月份相比，营养盐总氮质量浓度均值下降了 3.34 mg/L，大量来水也加速了湖区水体交换（三河闸多次放水），湖水与底质搅动频繁，受外围气象影响（台风等），把营养物质输送到下游，使其不易在湖中滞留，同时经常出现“泥沙型浊水状态”，使湖泊透光率较低，藻类初级生产力不能发挥作用，难以充分利用太阳能固定碳和

氮,形成不了高生产力水平和生物量,使浮游植物的密度较低^[16]。

洪泽湖不时发生小面积的蓝藻聚集,例如2009年10月28日,在老山乡到高涧镇一线的航道周围就发生了蓝藻聚集,主要因为行船对水质动力学产生影响导致的。

野外观测发现,特定湖区内水华蓝藻的增加主要取决于外源微囊藻随着气象与水文条件的变化在水平方向漂移到该湖区的外源漂移迁入,以及该湖区内原位的蓝藻生长速率,两者同时导致该湖区水华蓝藻种群生物量的急剧增加。

由于洪泽湖是浅水湖泊,水华从无到有是一个渐进的过程,其中涉及到蓝藻对营养盐的吸收、环境要素对蓝藻生长速率的影响、蓝藻与其他藻类群体对营养盐和光的竞争及其优势的形成、动物对蓝藻细胞的捕食以及蓝藻的死亡等复杂的生态学过程,其中氮、磷(内、外源)等因子为水华的发生提供了营养条件,温度、风速、风向、降雨等因素是湖泊内蓝藻水华发生的能量基础,地形、地貌等因素是水华发生的环境条件。

6 结论

2009年洪泽湖及其入湖河流总体水质为劣五类,主要污染物为总磷、总氮,目前的营养状态为轻度富营养水平。

洪泽湖第一次发生蓝藻聚集现象的原因主要是:湖区蒸发量大于补给水量,使湖区水位下降很快,水体中的营养盐得到浓缩;水温适宜藻类生长,且较高水温有助于底泥中的总磷向水体释放,使水体中的营养盐浓度进一步加大;湖区水体换水较缓,使营养物质在湖体中滞留时间过长;风速、波浪较小,有助于水体中的蓝藻向表层上浮、扩散;在一定水动力条件下会造成蓝藻在特定湖区聚集。

针对上述原因,对洪泽湖富营养化和蓝藻聚集提出防治对策建议如下:

(1) 尽快明确洪泽湖环境管理的责任主体,加强控源截污和流域管理。巩固淮河流域治理成果,不断提高治污水平,特别是脱氮、脱磷的水平,减少入湖河流的营养盐总量。

(2) 优化洪泽湖地区土地利用模式和生产结构,开发科学施肥技术,降低农业面源污染。

(3) 努力恢复湖滨带生态系统,从而改变氮、磷入湖途径,这也是控制外源营养物入湖的重要措施。

(4) 利用生物链原理,通过合理饲养鲢鱼、鳙鱼等滤食鱼类,来控制蓝藻生物量;加强对底栖动物中滤食性螺、蚌等软体动物的保护,使之成为减轻蓝藻大面积聚集的帮手。

(5) 增加投入,加强洪泽湖湿地监测体系建设,建立起覆盖重要洪泽湖湿地资源的监测网络。

[参考文献]

- [1] 朱松泉, 窦洪身. 洪泽湖——水资源和水生生物资源[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 1993: 2-52.
- [2] 金相灿, 刘鸿亮, 屠清瑛, 等. 中国湖泊富营养化[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1990: 151-169.
- [3] 中国环境监测总站. 总站生字[2001]090号, 湖泊(水库)富营养化评价方法及分级技术规定[S].
- [4] 孔繁翔, 高光. 大型浅水湖泊的蓝藻水华形成机理研究的思考[J]. 生态学报, 2005, 25(3): 589-595.
- [5] 陶益, 孔繁翔, 曹焕生, 等. 太湖底泥水华蓝藻的复苏模拟[J]. 湖泊科学, 2005, 17(3): 231-236.
- [6] CAO H S, KONG F X, TAN J K, et al. Recruitment of total phytoplankton, chlorophytes and cyanobacteria from lake sediments recorded by photosynthetic pigments[J]. International Review of Hydrobiology, 2005, 90(4): 345-355.
- [7] CAO H S, TAO Y, KONG F X, et al. Relationship between temperature and cyanobacterial recruitment from sediments in laboratory and field studies[J]. Journal of Freshwater Ecology, 2008, 23(3): 405-412.
- [8] WU Z X, SONG L R. Physiological comparison between colonial and unicellular forms of *Microcystis aeruginosa* Kütz (Cyanobacteria) [J]. Phycologia, 2008, 47(1): 98-104.
- [9] 储昭升, 杨波, 金相灿, 等. 6株蓝藻伪空胞的临界破裂压力研究[J]. 环境科学, 2007, 28(2): 2665-2669.
- [10] ZHANG M, KONG F X, XING P, et al. Effects of interspecies interactions between *Microcystis aeruginosa* and *Chlorella pyrenoidosa* on their growth and physiology[J]. International Review of Hydrobiology, 2007, 92(3): 281-290.
- [11] ZHANG M, KONG F X, SHI X L, et al. Differences in responses to darkness between *Microcystis aeruginosa* and *Chlorella pyrenoidosa* [J]. Journal of Freshwater Ecology, 2007, 22(1): 93-99.
- [12] 白晓华, 胡维平, 胡志新, 等. 2004年夏季太湖梅梁湾席状漂浮水华风力漂移入湾量计算[J]. 环境科学, 2005, 26(6): 57-60.
- [13] REYNOLDS C S. Cyanobacteria water blooms[J]. Advances in Botanical Research, 1987, 13: 67-143.
- [14] SPENCER C N, KING D L. Regulation of blue-green algal buoyancy and bloom formation by light, inorganic nitrogen, CO₂, and trophic level interactions[J]. Hydrobiologia, 1987, 144: 183-191.
- [15] 陈宇炜, 秦伯强, 高锡云. 太湖梅梁湾藻类及相关环境因子逐步回归统计和蓝藻水华的初步预测[J]. 湖泊科学, 2001, 13(1): 63-71.
- [16] 李文朝. 浅水湖泊生态系统的多稳态理论及其应用[J]. 湖泊科学, 1997, 9(2): 97-104.