

文章编号:1004-8227(2011)02-0156-05

太湖蓝藻水华分级及其时空变化

刘聚涛¹, 杨永生¹, 高俊峰^{2*}, 姜加虎²

(1. 江西省水利科学研究院, 江西 南昌 330029; 2. 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 江苏 南京 210008)

摘要:根据 MODIS 影像和实地监测叶绿素 a 浓度数据, 采用太湖蓝藻水华分级评估方法, 对 2004~2008 年太湖不同类型蓝藻水华类型进行评估并统计分析, 探求太湖蓝藻水华特征及其时空变化规律, 以为太湖蓝藻水华预防和预警提供支持。结果表明: (1) 2004~2008 年, 全湖共发生蓝藻水华 414 次, 以小型蓝藻水华为主, 发生 333 次, 占总次数的 80.43%; 随着蓝藻水华级别的增加, 发生次数逐渐减少; (2) 空间上, 蓝藻水华主要发生在太湖的北部和西部区域, 并且蓝藻水华发生级别由高到低基本上沿西北-东南方向分布; (3) 年际变化上, 蓝藻水华发生次数呈逐渐增加趋势, 蓝藻水华级别较高、次数较多的年份主要集中于 2006 年和 2007 年; (4) 年内变化上, 4~8 月份, 蓝藻水华发生次数呈增加趋势, 8~11 月, 蓝藻水华发生次数逐渐减少。并且, 蓝藻水华主要集中于 5 月和 7~10 月份, 尤其是 8~10 月。

关键词:蓝藻水华分级; 特征; 时空变化; 太湖

文献标识码:A

太湖流域是我国人口最集中、经济最发达、产业最密集、城镇化程度最高的地区之一, 流域面积仅占全国国土面积的 0.4%, 但国民生产总值超过了全国的 10%, 在国民经济社会发展中起着举足轻重的作用^[1]。从 20 世纪 80 年代后期开始, 太湖北部的梅梁湾开始频繁暴发蓝藻水华^[2,3]。2000 年以来, 蓝藻水华的持续时间有所增加, 几乎全年都有发生, 2001 年以来, 南部沿岸蓝藻水华频繁发生, 且集聚面积逐年扩大, 持续时间越来越长。值得注意的是, 2005 年以来, 以前很少有蓝藻水华发生的贡湖湾, 也开始有大面积蓝藻水华覆盖^[4]。蓝藻水华发生往往给周边居民带来生活和经济的重大损失, 1990 年太湖蓝藻水华暴发, 无锡 46 家企业停产, 直接经济损失高达 1.3 亿元^[5], 2007 年 5 月 29 日太湖蓝藻水华大规模暴发, 导致无锡市 200 多万居民饮水危机, 引起了社会的广泛关注。

目前对于太湖蓝藻水华的研究工作多集中于发生机理研究、影响因素等方面^[6~8], 对于蓝藻水华分级及其变化规律的研究较少, 本研究根据太湖蓝藻水华分级标准, 对 2004~2008 年太湖蓝藻水华类型进行统计分析, 探求太湖蓝藻水华特征及其时空变

化, 以为蓝藻水华预防和预警提供支持。

1 资料与方法

1.1 数据来源及其处理

蓝藻水华面积通过 2004~2008 年 4~11 月份的 MODIS 遥感影像, 其频率每天 1 次, 分辨率为 250 m×250 m, 采用近红外波段 Band2/Band4>1 的方法^[9]提取。

叶绿素 a(Chla)浓度的数据来源于太湖每周 2 次常规监测数据, 根据蓝藻水华预报模型^[10]模拟监测日期后 2~3 d 的 Chla 浓度分布, 结合遥感影像统计蓝藻水华面积范围内 Chla 浓度, 并计算其均值, 从而确定该次蓝藻水华暴发时 Chla 浓度。

1.2 蓝藻水华分级评价方法

参考太湖蓝藻水华分级评估方法^[11], 太湖蓝藻水华分级评价标准如表 1 所示。根据评价标准, 应用太湖蓝藻水华分级评估方法对太湖 2004~2008 年太湖蓝藻水华次事件进行评估, 并统计不同类型蓝藻水华在各年和各月中的发生次数。

收稿日期:2010-04-01; 修回日期:2010-05-18

基金项目:国家“973”项目(2008CB418106); 中国科学院知识创新工程重大交叉项目(KZCX1-YW-14-6)

作者简介:刘聚涛(1983~), 男, 河南省舞阳人, 博士, 工程师, 主要从事生态环境灾害评价研究。E-mail: liujutao126@163.com

*通讯作者 E-mail: gaojunf@niglas.ac.cn

表 1 太湖蓝藻水华分级标准

Tab.1 Standard of Grading Division of Cyanobacteria Bloom in Taihu Lake

类型	面积(km ²)	Chla 浓度(mg/m ³)
小型蓝藻水华	≤150	≤30
中型蓝藻水华	(150,400]	(30,50]
大型蓝藻水华	(400,600]	(50,80]
重大蓝藻水华	(600,900]	(80,120]
特大蓝藻水华	>900	>120

2 结果与分析

2.1 太湖蓝藻水华发生的次数和规模

通过对 2004~2008 年 4~11 月份太湖蓝藻水华类型进行评估并统计,近几年中不同类型蓝藻水华发生次数及其规模如表 2 所示。

表 2 不同类型蓝藻水华发生次数及其规模

Tab.2 Number and Size of Different Types of Cyanobacteria Bloom

蓝藻水华类型	次数	次数所占百分比(%)	平均面积(km ²)	面积所占百分比(%)
小型蓝藻水华	333	80.44	90.1	3.81
中型蓝藻水华	48	11.59	373.5	15.81
大型蓝藻水华	20	4.83	607.4	25.71
重大蓝藻水华	9	2.17	911.8	38.60
特大蓝藻水华	4	0.97	1 226.0	51.91

2004~2008 年,具有明确时间、地点的蓝藻水华发生次数为 414 次,蓝藻水华总面积为 72 890 km²,平均每次发生蓝藻水华面积为 176.06 km²,占太湖总面积的 7.45%。在不同类型蓝藻水华中,小型蓝藻水华占比重最大,随着蓝藻水华级别的升高,发生次数则逐渐减少,特大蓝藻水华发生次数最少。其中,小型蓝藻水华发生次数为 333 次,占总次数的 80.44%;中型蓝藻水华发生次数为 48 次,占总次数的 11.59%;大型蓝藻水华发生次数为 20 次,占总次数的 4.83%,大型蓝藻水华平均面积为 607.4 km²,约占全湖的 25.71%;重大蓝藻水华发生次数为 9 次,占总次数的 2.17%;特大蓝藻水华发生次数为 4 次,占总次数的百分比不足 1%。

2.2 太湖蓝藻水华空间变化特征

太湖分区如图 1 所示。调查发现,蓝藻水华主要发生在太湖的北部和西部区域,而在太湖的东南部的胥湖、箭湖东茭咀和东太湖尚无发现大面积的蓝藻水华。

根据近几年统计,如图 2 所示,全湖共发生蓝藻

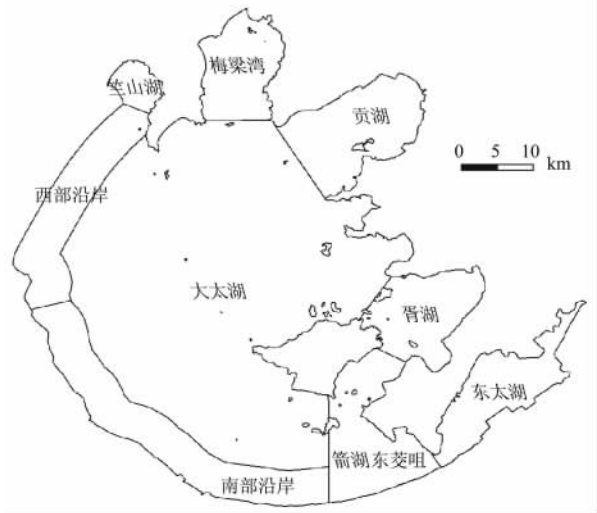


图 1 太湖分区图

Fig.1 Sketch Map of Different Regions in Taihu Lake

水华 414 次,在各湖区中,西部沿岸发生蓝藻水华概率最大,其它湖区依次为大太湖、梅梁湾、南部沿岸、竺山湖和贡湖。其中西部沿岸发生 330 次,占总次数的 79.7%,大太湖其次,为 323 次,占总次数的 78.0%;梅梁湾和南部沿岸分别为 261 次和 234 次,分别占总次数的 63.0%和 56.5%;竺山湖和贡湖次数相对较少,蓝藻水华发生次数分别为 184 次和 142 次,分别占总次数的 44.4%和 34.3%。

在太湖发生蓝藻水华的 6 个湖区中,如图 3 所示,位于太湖北部和西北部的湖区蓝藻水华最为严重,当蓝藻水华发生时,竺山湖、西部沿岸和梅梁湾蓝藻水华面积占湖区面积最大,约 1/3,几乎被蓝藻水华所覆盖。在其它湖区中,南部沿岸、贡湖和大太湖平均蓝藻水华面积占该湖区的 20.92%、14.78%和 8.25%。各湖区中蓝藻水华发生级别由高到低基本上沿西北东南方向分布。

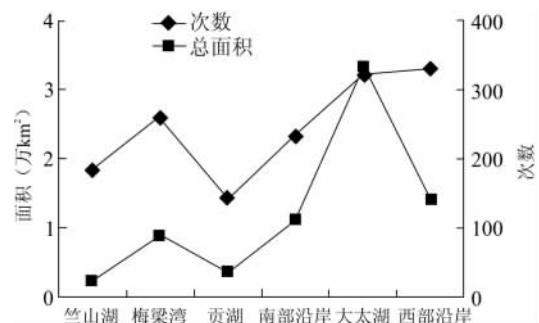


图 2 不同湖区蓝藻水华发生次数及其总面积

Fig.2 Number and Total Area of the Cyanobacteria Bloom in Different Lake Regions

2.3 太湖蓝藻水华时间变化特征

2.3.1 蓝藻水华发生年际变化特征

通过对 2004~2008 年太湖蓝藻水华类型和次数分析,如图 4 所示。总体上,近几年来,蓝藻水华发生次数呈逐渐增加趋势,2007 年最大,2008 年较 2007 年有所下降。小型蓝藻水华的发生次数远超过其它类型蓝藻水华次数,并且呈增加趋势。其它类型蓝藻水华发生次数较少,中型蓝藻水华每年不超过 20 次,大型蓝藻水华不超过 10 次,重大蓝藻水华和特大蓝藻水华仅发生在 2006 年和 2007 年,重大蓝藻水华发生次数分别为 5 次和 1 次,特大蓝藻水华发生次数分别为 3 次和 1 次。

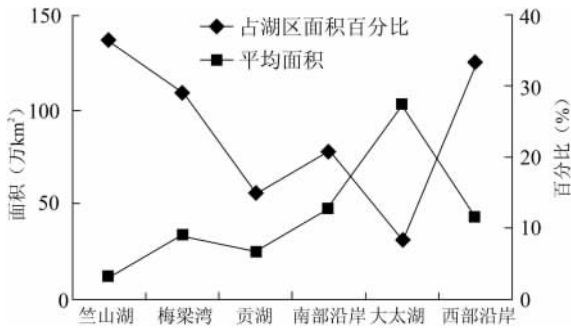
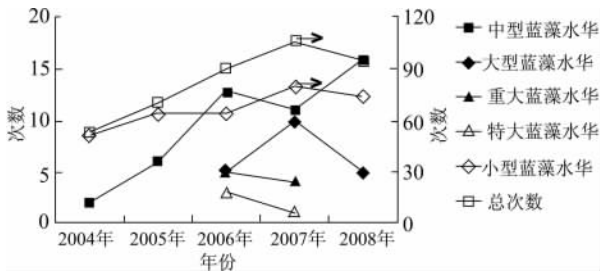


图 3 不同湖区蓝藻水华平均面积及其占湖区百分比
Fig. 3 Average Area and the Percentage of the Cyanobacteria Bloom in Different Lake Regions



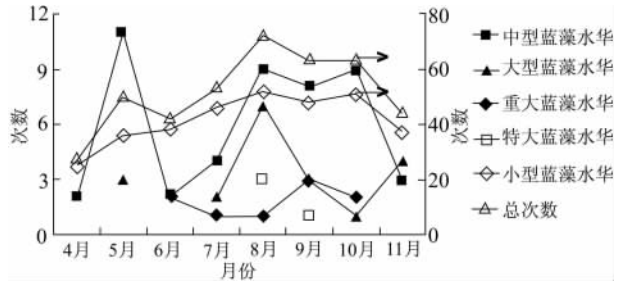
注:图中箭头分别表示总次数和小型蓝藻水华为右边的坐标轴
图 4 2004~2008 年太湖不同类型蓝藻水华发生次数
Fig. 4 Number of Different Cyanobacteria Blooms in Taihu Lake from 2004 to 2008

近几年中,蓝藻水华规模较大、次数较多的年份主要集中于 2006 年和 2007 年。2006 年暴发三次特大蓝藻水华,分别为 2006 年的 8 月 13 日、8 月 27 日和 8 月 28 日,太湖全湖蓝藻水华面积分别为 1 345 km²、1 156 km² 和 1 251 km²,分别占太湖总面积的 56.94%、48.94% 和 52.96%。2007 年暴发一次特大蓝藻水华,蓝藻水华面积达到了 1 152 km²,占太湖全湖总面积的 48.77%。

①中国科学院南京地理与湖泊研究所《太湖生态安全调查与评估图册》,2008。
②中国科学院南京地理与湖泊研究所《太湖生态安全调查与评估专题报告》,2008。

2.3.2 蓝藻水华发生年内变化特征

近几年来 4~11 月蓝藻水华类型变化趋势如图 5 所示,4~8 月份,蓝藻水华次数逐渐增加,8~11 月,次数逐渐减小。其中小型蓝藻水华主要集中于 7~10 月份,发生次数分别为 46、52、48 和 51 次,平均每月发生次数为 9~10 次,约占当月的 1/3 天数;中型蓝藻水华主要发生在 5 月和 8~10 月,分别为 11、9、8 和 9 次;大型蓝藻水华出现集中在 8 月,共出现 7 次,其它月份不超过 4 次;重大蓝藻水华集中在 6~10 月,发生总次数较少,各月均不超过 3 次;特大蓝藻水华发生次数最少,且仅发生于 8 月和 9 月份,分别为 3 次和 1 次。总体来看,蓝藻水华主要集中于 5 月和 7~10 月份,尤其是 8~10 月。



注:图中箭头分别表示总次数和小型蓝藻水华为右边的坐标轴
图 5 各月太湖不同类型蓝藻水华发生次数对比图
Fig. 5 Number of Different Cyanobacteria Blooms Among Different Months in Taihu Lake

3 讨论

蓝藻水华的形成过程是由蓝藻本身的生理特点以及温度、光照、营养盐、其它生物等诸多环境因素共同作用的结果^[12],其中营养盐是关键因子^[13]。根据相关资料^①,近几年中,TN 和 TP 等蓝藻水华暴发所需要的营养盐浓度在梅梁湾、竺山湖和西部沿岸较大,呈扇形向其它湖区逐渐降低,而且作为蓝藻水华的表征因子 Chl_a 浓度具有相同的趋势,即营养盐和 Chl_a 浓度较高的区域主要集中于太湖的北部和西北部,逐渐向东南湖区降低,因此水环境指标空间分异可能是导致太湖蓝藻水华主要集中于北部和西北部区域的主要因素。

根据太湖蓝藻水华发生的年际特征来看,蓝藻水华级别较高、次数较多的年份主要集中于 2006 和 2007 年。根据近几年太湖水质监测数据^②来看,2006 年和 2007 年太湖 TP 和 Chl_a 浓度高于其它年

份,其中 Chla 浓度为蓝藻水华生物量的表征指标^[14~16]和太湖蓝藻水华分级的评估指标,对太湖蓝藻水华分级评估起着重要的作用,因此在 2006 年和 2007 年蓝藻水华发生级别较高、次数较多。在 2007 年 5 月份蓝藻水华暴发后,政府和公众采取一定的措施^[6]来减少排放入湖的 TN 和 TP 等蓝藻水华所必需的营养物质以及蓝藻生物量,一定程度上减小了蓝藻水华暴发的几率和风险,因此在 2008 年,除中型蓝藻水华外,其它类型蓝藻水华明显减少。

在年内变化中,蓝藻水华发生次数较多、级别较高的月份主要集中于 5 月和 7~10 月份,尤其是 8~10 月。这可能是由于太湖流域位于长江中下游,受季风气候影响,6 月份多阴雨天气,降雨量较大,太湖水位相对较高,对蓝藻密度具有一定的稀释作用,一定程度上减小了蓝藻大规模聚集的程度,因此 6 月份蓝藻水华发生次数相对较少。在 4 月份,太湖蓝藻水华属于复苏阶段^[17],蓝藻生物量处于一个增加阶段,并且温度相对较低,发生蓝藻水华次数较少,11 月份开始,蓝藻处于衰亡阶段^[17],蓝藻逐渐死亡和下沉,并且气温降低,从而导致蓝藻水华次数较少。

4 结论

(1)2004~2008 年,全湖共发生蓝藻水华 414 次,以小型蓝藻水华为主,发生 333 次,占总次数的 80.43%。随着蓝藻水华级别的升高,发生次数逐渐减少。

(2)空间上,蓝藻水华主要发生在太湖的北部和西部区域,位于太湖东南部的胥湖、箭湖东茭咀和东太湖尚无发现大面积的蓝藻水华。在发生蓝藻水华的 6 个湖区中,西部沿岸发生蓝藻水华机率最大,其它湖区依次为大大湖、梅梁湾、南部沿岸、竺山湖和贡湖。各湖区中蓝藻水华发生级别由高到低基本上沿西北—东南方向分布,太湖北部和西北部的湖区蓝藻水华最为严重,当蓝藻水华发生时,竺山湖、西部沿岸和梅梁湾蓝藻水华面积占湖区面积最大,约 1/3。

(3)年际变化上,蓝藻水华发生次数呈逐渐增加趋势,蓝藻水华级别较高、次数较多的年份主要集中于 2006 年和 2007 年。年内变化上,4~8 月份,蓝藻水华发生次数呈增加趋势,8~11 月,蓝藻水华发生次数逐渐减少。蓝藻水华主要集中于 5 月和 7~

10 月份,尤其是 8~10 月。

参考文献:

- [1] 黄贤金,王腊春,高超,等.太湖水资源水环境研究[M].北京:科学出版社,2008:3.
- [2] CHEN Y W, QIN B Q, TEUBNER K, et al. Long-term dynamics of phytoplankton assemblages; *Microcystis*-domination in Lake Taihu, a large shallow lake in China [J]. *Journal of Plankton Research*, 2003, 25(1): 445~453.
- [3] 朱广伟.太湖富营养化现状及原因分析[J]. *湖泊科学*, 2008, 20(1): 21~26.
- [4] 马荣华,孔繁翔,段洪涛,等.基于卫星遥感的太湖蓝藻水华时空分布规律认识[J]. *湖泊科学*, 2008, 20(6): 687~694.
- [5] 张振克.太湖流域湖泊水环境问题、成因与对策[J]. *长江流域资源与环境*, 1999, 8(1): 81~87.
- [6] 秦伯强,王小东,汤祥明,等.太湖富营养化与蓝藻水华引起的饮用水危机——原因与对策[J]. *地球科学进展*, 2007, 22(9): 896~906.
- [7] 杨州,孔繁翔.浮游动物诱发藻类群体的形成[J]. *生态学报*, 2005, 25(8): 2083~2089.
- [8] 中国科学院南京地理与湖泊研究所.太湖梅梁湾 2007 年蓝藻水华形成及取水口污水团成因分析与应急措施建议[J]. *湖泊科学*, 2007, 19(4): 357~358.
- [9] 段洪涛,张寿选,张渊智.太湖蓝藻水华遥感监测方法[J]. *湖泊科学*, 2008, 20(2): 145~152.
- [10] 黄佳聪,吴晓东,高俊峰,等.蓝藻水华预报模型及基于遗传算法的参数优化[J]. *生态学报*, 2010, 30(4): 1 003~1 010.
- [11] 刘聚涛,高俊峰,赵家虎,等.太湖蓝藻水华灾害程度评价方法[J]. *中国环境科学*, 2010, 30(6): 829~832.
- [12] PAERL H W, FULTON R S, MOISANDER P H, et al. Harmful freshwater algal blooms, with an emphasis on cyanobacteria[J]. *Scientific World Journal*, 2001, 1: 76~113.
- [13] CHAPMAN B R, FERY B W, FORD T W. Phytoplankton communities in water bodies at Dungeness, UK: Analysis of seasonal changes in response to environmental factors [J]. *Hydrobiologia*, 1998, 362: 161~170.
- [14] STEELE J H. Environmental control of photosynthesis in the sea [J]. *Limnology and Oceanography*, 1962, 7: 137~150.
- [15] CULLEN J J. The deep chlorophyll maximum comparing vertical profiles of chlorophyll a [J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 1982, 39: 791~803.
- [16] JOSEPH N B, CHRISTOPHER R K, PETER B O, et al. Phytoplankton bloom status: Chlorophyll a biomass as an indicator of water quality condition in the southern estuaries of Florida, USA [J]. *Ecological Indicators*, 2009, 9(S): S56~S67.
- [17] 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.

CHARACTERISTICS OF CYANOBACTERIA BLOOM GRADING AND ITS TEMPORAL AND SPATIAL VARIATION IN TAIHU LAKE

LIU Ju-tao¹, YANG Yong-sheng¹, GAO Jun-feng², JIANG Jia-hu²

(1. Jiangxi Provincial Institute of Water Sciences, Nanchang 330029, China;

2. Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

Abstract: Using MODIS satellite images and Chlorophyll-a concentration data and adopting cyanobacteria bloom evaluation method, this paper studied different type of cyanobacteria bloom from 2004 to 2008 in Taihu Lake, and explored the characteristics of cyanobacteria bloom and its spatial and temporal variation, which provided pre-prevention and early warning for cyanobacteria bloom. The results showed that from 2004 to 2008, there were 414 cyanobacteria bloom incidents, and small scale cyanobacteria bloom occurred 333 times, which occupied 80.43% of the cyanobacteria bloom incidents. As the grade of the cyanobacteria bloom increased, the number reduced. In the space, cyanobacteria bloom occurred mainly in the northern and western regions. And the distribution of the cyanobacteria bloom grade from high to low was mainly accord with the direction from northwest to southeast. Among the annual change, the number of cyanobacteria bloom gradually increased. The year in which large-scale cyanobacteria bloom happened and the cyanobacteria bloom occurred frequently was concentrated on 2006 and 2007. The number of cyanobacteria bloom increased from April to August, and decreased from August to November. The cyanobacteria bloom concentrated in May and from July to October, especially from August to October.

Key words: cyanobacteria bloom grading; characteristics; spatial and temporal variation; Taihu Lake