

巢湖蓝藻水华分布特征和气象条件分析

范裕祥<sup>1</sup>, 金社军<sup>1</sup>, 周培<sup>2</sup>, 季爱娟<sup>1</sup>, 王文本<sup>1</sup>

(1. 安徽省巢湖气象局, 安徽巢湖 238000; 2. 福建省三明市大田县气象局, 福建三明 366100)

**摘要** [目的]研究巢湖蓝藻水华与气象条件之间的关系。[方法]利用卫星遥感监测信息和气象资料, 统计分析 2009~2013 年巢湖蓝藻水华分布特征与其暴发期间主要气象要素特征。[结果]巢湖蓝藻水华 5~11 月均有分布, 9、10 月是巢湖蓝藻水华的主要暴发期, 5、11 月明显偏少; 蓝藻水华主要分布在西半湖。适宜的气温、少雨、光照充足和风速偏小有利于蓝藻颗粒的上浮和积聚; 适宜的温度条件下, 蓝藻生长繁殖迅速。[结论]气温是巢湖蓝藻水华暴发的基本气象条件, 不是水华暴发面积的关键气象条件, 5 d 积温 165.0 ℃·d 可作为蓝藻暴发的上限; 降水对水华有抑制作用; 充足的日照是水华形成的必要条件; 低风速 (<3.8 m/s) 利于水华形成。  
**关键词** 蓝藻水华; 暴发; 气象条件; 巢湖  
**中图分类号** S181.3 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2015)04-191-03

**Analysis on the Distributions and Meteorological Conditions of Cyanobacteria Bloom in Chaohu Lake**  
**FAN Yu-xiang<sup>1</sup>, JIN She-jun<sup>1</sup>, ZHOU Pei<sup>2</sup> et al** (1. Meteorological Bureau of Chaohu Lake, Chaohu, Anhui 238000; 2. Meteorological Bureau of Datian County, Sanming, Fujian 366100)  
**Abstract** [Objective] The research aimed to study the relationship between the cyanobacteria bloom and meteorological conditions in Chaohu Lake. [Method] With the data from the satellite remote sensing monitoring and meteorology from 2009 to 2013, this paper mainly analyzed the distribution features of cyanobacteria bloom and the features of main elemental meteorological during the outbreak of cyanobacteria bloom in Chaohu Lake. [Result] there were cyanobacteria bloom distribution during May to November, and Most of cyanobacteria bloom in Chaohu Lake mainly incurred in September and October, but the periods of the cyanobacteria bloom reduce sharply was in May and November. Lake blue-green cyanobacteria bloom were mainly distributed in west half lake. The suitable temperature, little rain, sunny and small wind speed was beneficial to a buoyancy and accumulation of cyanobacteria particles. Under the condition of appropriate temperature, the cyanobacteria bloom grow rapidly. [Conclusion] The temperature was the basic meteorological conditions of cyanobacteria bloom in Chaohu Lake, however, it was not the key meteorological condition to the area of cyanobacteria bloom. The 165.0 ℃·d which the accumulated temperature during 5 days could be used as was the upper limits of cyanobacteria bloom. Precipitation had an inhibitory effect on cyanobacteria bloom. Enough sunshine was a necessary condition for the formation of cyanobacteria blooms. The breeze (less than 3.8 m/s) were beneficial for the formation of cyanobacteria bloom.  
**Key words** Cyanobacteria bloom; Outbreak; Meteorological conditions; Chaohu Lake

蓝藻是一种原始而古老的藻类原核生物, 常于夏、秋季节在富营养化湖泊中大量繁殖, 在水面形成一层蓝绿色而有腥臭味的浮沫, 被称为“水华”<sup>[1]</sup>。澳大利亚和新西兰环境保护委员会将蓝藻水华定义为: 在富营养化水体中蓝藻大量繁殖, 水体中藻细胞叶绿素 a 质量浓度达 10 mg/m<sup>3</sup> 或藻细胞达 1.5 × 10<sup>4</sup> 个/ml, 并在水面形成一层蓝绿色且有恶臭味的浮沫<sup>[2]</sup>。

巢湖(31°25'28"~31°43'28"N、117°16'54"~117°51'46"E)属亚热带湿润季风气候区, 东西长 61.7 km, 南北最大宽度 20.8 km, 平均宽度 15.1 km。水位 12 m 时(吴淞冻结基面), 湖面面积约 760 km<sup>2</sup>, 湖岸周长 155.7 km。湖底浅平, 西高东低。由于工业化进程加快、城镇人口增加、化肥和农药的大量使用, 巢湖承纳的污水不断增加, 污染负荷超出了巢湖的承载能力, 富营养化水平长期居高不下, 大规模蓝藻水华频频暴发, 危及饮用水安全。任健等分析了 1986~2007 年 12 个太湖蓝藻暴发典型个例, 得出水体污染造成富营养化是蓝藻生长发育和暴发的基础, 日平均气温偏高、降雨量和降雨日数偏少、气压偏低、日照时数偏多有利于蓝藻生长发育和暴发<sup>[3]</sup>。张红等通过对巢湖蓝藻暴发期间气象观测资料的分析, 表明气温合适、降水偏少以及风速较小(非静风)的情况下容易造成藻类的暴发<sup>[4]</sup>。我国诸多学者利用多元逐步回归统计方法、人工神经网络方法等建立藻类生物

量变化预测模型<sup>[5-7]</sup>; 利用遥感技术提取叶绿素 a、建立水华遥感评价模型等<sup>[8-9]</sup>。笔者使用卫星遥感对巢湖蓝藻水华监测可以得到巢湖蓝藻水华发生的位置、面积、程度等定量特征信息, 对蓝藻水华特征和蓝藻水华发生时气象条件的分析有助于研究巢湖蓝藻水华形成的主要气象成因, 为巢湖蓝藻水华的预警提供重要依据。

1 资料与方法

**1.1 蓝藻水华数据** 巢湖蓝藻水华暴发的次数和面积的数据来源于安徽省气象科学研究所的 2009~2013 年蓝藻卫星遥感信息, 共 151 个样本。蓝藻水华在近红外波段有强的反射, 其反射率明显高于水体, 是反映蓝藻水华主要波段; 在红光波段有较强的吸收, 其反射率甚至低于水体。通过分析 EOS/MODIS 的通道特性, 选择归一化植被指数方法进行蓝藻水华信息提取的研究。归一化植被指数 NDVI 的计算公

式<sup>[10]</sup>为  $NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}}$ , 式中,  $\rho_{NIR}$ 、 $\rho_{RED}$  分别是 MODIS 接收的近外波段和红光波段的反射率。当湖区水体的 NDVI > 0.05 时则定义为蓝藻暴发。

**1.2 气象数据** 巢湖周边有巢湖、合肥、肥东、肥西 4 个国家气象站和若干个加密自动气象站, 考虑气象数据的代表性、准确性、比较性, 这里选择合肥国家基本气象站 2009~2013 年气温、降水、日照、风等气象数据。气温数据有日平均气温、5 d 积温, 降水分为日降水量、20:00~次日 08:00 降水量、08:00~20:00 降水量, 日照时数, 风为 2 min 平均风向

**作者简介** 范裕祥(1973-), 男, 安徽含山人, 高级工程师, 从事天气预报、蓝藻监测与预警研究。  
**收稿日期** 2014-12-17

风速。

1.3 分析方法 气象资料的统计分析方法按照中国气象局的气象资料统计的相关技术规定进行。利用 SPSS18.0 软件对巢湖蓝藻水华暴发与气象因子之间的关系进行 Pearson 相关性分析。

2 结果与分析

2.1 蓝藻水华分布特征分析 2009 年 6 月~2013 年 11 月卫星遥感监测到巢湖蓝藻水华共发生 151 次,年平均暴发次

数为 30.2 次/a,其中 5 月 2 次、6 月 25 次、7 月 25 次、8 月 21 次、9 月 34 次、10 月 35 次、11 月 9 次(图 1a)。可见,9、10 月是蓝藻集中暴发的月份,2 个月占总次数的 46%,6、7、8 月份次之,最少的月份是 5 月。日最大暴发面积出现在 2009 年 10 月 15 日,为 212.506 km<sup>2</sup>,占全湖总面积 28%。暴发总次数最多的年份是 2009 年,为 39 次,最少的年份是 2011 年,为 22 次;近 5 年来巢湖蓝藻水华暴发年总次数趋势呈波浪式(图 1b)。

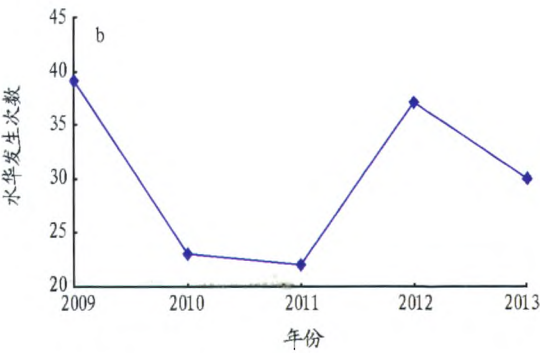
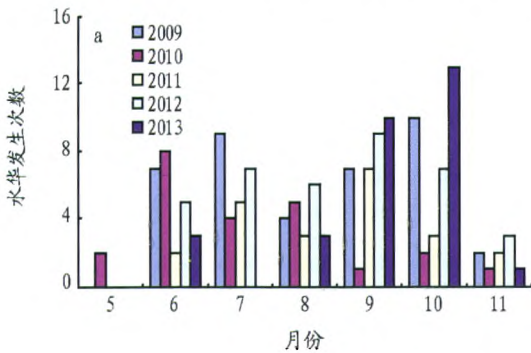


图 1 2009~2013 年巢湖蓝藻水华暴发逐月频次分布(a)和逐年总次数趋势(b)

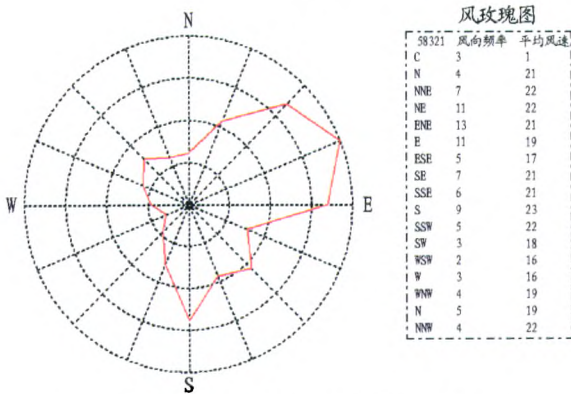


图 2 2009 年 5 月~2013 年 11 月巢湖风向玫瑰图

总结 151 次暴发过程发现,巢湖蓝藻暴发期集中在每年的 5~11 月,每年的夏秋两季是巢湖蓝藻的主要暴发期,其中 9、10 月是蓝藻暴发主要月份;巢湖西半湖为蓝藻的主要暴发区域,且该区域为蓝藻重度暴发区。造成这一现象的主要原因是西半湖水体富营养化较东半湖严重;巢湖夏秋两季盛行东北偏东风(图 2),蓝藻易在西半湖聚集,巢湖东半湖蓝藻水华较少。

2.2 水华发生期气象条件分析

2.2.1 气温。2009~2013 年蓝藻水华发生期间日平均气温在 8.8~34.0℃,平均日平均气温为 24.4℃,日平均气温标准差为 5.9℃,极端日最高气温 39.6℃,极端日最低气温 2.0℃。可见蓝藻可以在温度范围较大的环境里生长繁殖。日平均气温与蓝藻水华面积 Pearson 相关系数为 -0.254,通过 0.01 的信度检验,是高度显著的线性负相关。5 年来,蓝藻水华首次暴发平均气温为 25.3℃,末次暴发平均气温为 11.8℃(表 1),标准差均为 3.2℃,可见,巢湖蓝藻每年首次暴发时的日平均气温明显高于末次暴发时日平均气温。水的比容比气温的比容大,造成水的升温或降温均有一定的滞

后性是造成巢湖蓝藻水华首次暴发比末次暴发日平均气温高的重要原因之一。蓝藻水华每年首次暴发时,气温是主要因素;末次暴发时,气温不是主要因素。

表 1 巢湖蓝藻首次暴发与末次暴发的日平均气温

年份	首次暴发日平均气温/℃	末次暴发日平均气温/℃
2009	27.4	17.0
2010	22.4	11.9
2011	26.3	11.7
2012	28.8	8.8
2013	21.5	9.7

从蓝藻持续期间的面积和气象条件(表 2)可以看出,2010 年 10 月 5 日蓝藻暴发面积为 202.282 km<sup>2</sup>,该日平均气温为 18.4℃,4 日平均气温为 18.1℃,但蓝藻水华面积仅为 22.771 km<sup>2</sup>;3 日平均气温为 18.7℃,而该日无蓝藻水华暴发。连续 3 d 温度条件相似,但蓝藻水华暴发程度却大相径庭。2013 年 10 月 10~14 日的情况与以上分析类似。分析 2009~2013 年蓝藻水华持续期间的气温条件发现,在适宜的温度条件下,蓝藻生长繁殖迅速,蓝藻水华暴发过程是蓝藻颗粒在水面累积的过程;气温不是蓝藻水华积聚面积的关键气象因子,只是蓝藻水华暴发的基本条件。

2009~2013 年 5~10 月期间,水华发生前 5 d 积温在 51.7~165.0℃·d,水华发生面积与 5 d 积温 Pearson 相关系数为 -0.249,通过 0.01 的信度检验,是高度显著的线性负相关。2009~2013 年 6~10 月期间气温基本满足巢湖蓝藻水华暴发的条件,每年的 5、11 月气温不能完全满足蓝藻水华积聚的条件。2013 年 8 月 11~18 日平均气温连续稳定超过 32.3℃,5 d 积温均大于 165.0℃·d,风速 1.5~2.2 m/s,光照充足,无降水发生,但巢湖未发生明显水华。因此,持续的高温对蓝藻积聚有明显的抑制作用,5 d 积温 165.0

℃·d 可作为蓝藻积聚的上限。

表 2 蓝藻持续期间的面积和气象条件

日期	平均 气温 ℃	平均 风速 m/s	降水量 mm	日照 时数 h	覆盖 面积 km <sup>2</sup>
2010-10-03	18.7	2.4	0	9.5	0
2010-10-04	18.1	1.3	0	9.9	22.771
2010-10-05	18.4	1.6	0	8.7	202.282
2013-10-10	21.7	1.3	0	9.3	72.229
2013-10-11	23.3	1.0	0	8.4	95.460
2013-10-12	22.6	2.4	0	9.8	17.925
2013-10-13	22.2	2.1	0	10.3	18.257
2013-10-14	21.2	1.7	0	9.7	84.643

2.2.2 降水。统计 2009~2013 年 5~11 月份总降水量和蓝藻水华发生次数(表 3),总降水量与蓝藻水华发生次数的 Pearson 相关系数为 -0.95,通过 0.05 的信度检验,是显著的线性负相关。151 个样本中仅 10 d 当日有降水,最大的日降水量为 25.0 mm,但降水发生在夜间,其他 9 d 的降水也基本发生在夜间,白天有降水的较少,即使有降水也是在 08:00 左右或 18:00 之后且降水量 < 2.2 mm。分析每年 5~11 月每日 20:00~次日 08:00 降水量发现,在中雨或以下量级时,只要第 2 天白天气温满足条件、日照充足、风速偏小的情况下,就会有蓝藻水华暴发。20:00~次日 08:00 降水量在大雨或以上量级时,第 2 天基本为阴天,无水华发生。持续降水情况下,降水结束次日有蓝藻水华发生时,蓝藻水华面积小很多,其后持续暴发时,其他气象条件相似的情况下,水华面积迅速增加。可见,持续的强降水对巢湖蓝藻水华有一定的抑制作用,主要是降水往往使得气温和水温下降,导致蓝藻增殖速度放慢,水体蓝藻密度更加趋于均匀,同时降雨天气一般为阴天,光照较少,使得水华不发生或面积明显减少。

表 3 2009~2013 年 5~11 月份总降水量和水华发生次数

年份	5~11 月总降水量/mm	水华发生次数
2009	647.4	35
2010	818.9	23
2011	903.0	22
2012	681.2	37
2013	740.5	30

2.2.3 日照。2009~2013 年蓝藻水华暴发日的平均日照时数为 8.6 h,标准差为 2.1 h。日照是蓝藻增殖的关键条件,5~11 月巢湖光照强度较高,光照时间长短可视是影响蓝藻光合作用的关键因素之一。每年蓝藻水华首度暴发之前均经过较长时间连续太阳照射,日照时数为 0 h 的天数均无蓝藻水华首度暴发。最近 5 年日照时数为 0 h 但有蓝藻水华发生的仅出现在 2009 年 10 月 30 日,面积为 36.181 km<sup>2</sup>。该日气象条件是清晨有雾,其后能见度一直较差,14:00、20:00 能见度分别为 2.7、1.8 km,14:00、20:00 总低云量均未 0,可见该日有日照,只不过光照强度未达阈值,日照迹线无法显示。

因此,充足的日照是水华形成的必要条件。

2.2.4 风。2009~2013 年巢湖蓝藻水华发生日的平均风速为 0.6~3.8 m/s,平均值为 1.7 m/s,日平均风速标准差为 0.6 m/s。日平均风速与蓝藻水华面积 Pearson 相关系数为 -0.242,通过 0.01 的信度检验,是高度显著的线性负相关。风通过水面激起的风浪对藻类生长产生影响,当风浪过大时起到一个搅拌的作用,会使水体表层蓝藻下沉,改变藻生物的垂直浓度分布,使得水体中藻生物量的浓度更加均匀,降低了水体表面藻细胞的浓度。当日平均风速 > 3.8 m/s,基本没有蓝藻水华。风浪较小时,有利于水体中已经存在的大量藻类上浮,推动水体表层蓝藻颗粒的移动和聚集,形成水华。低风速是蓝藻水华暴发的重要前提条件。因此,风浪对藻类暴发的作用主要取决于风速大于还是小于临界风速。气温适宜的时候,低风速对已经形成的蓝藻水华移动的影响较低,低风速天气持续时间越长,多次连续暴发的可能性越大。大风速(≥3.8 m/s)搅动使得蓝藻颗粒下沉,使得卫星遥感监测到的水华面积大幅度减少。持续 3 h > 5.0 m/s 的平均风速,蓝藻颗粒水平、垂直分布趋于均匀,卫星不能监测到湖面有明显蓝藻水华。

研究中发现,在其他气象条件不变的情况下,蓝藻持续暴发的第 2 天如果风向突然变化,蓝藻水华的面积迅速减小;长时间连续一致风向有利于蓝藻水华程度加强和面积急剧增加。风向突变,蓝藻颗粒运动方向相应地与原来方向相反,在一定时间内,水体表面的藻细胞密度趋于均匀,卫星遥感监测到的水华面积会显著减少。

3 结论与讨论

(1) 通过卫星遥感监测的 2009~2013 年巢湖蓝藻水华特征是巢湖蓝藻暴发期为每年的 5~11 月,夏秋两季是巢湖藻类的主要暴发期,其中 9、10 月是蓝藻暴发主要月份,6、7、8 月份次之,最少的月份是 5 月;巢湖西半湖为蓝藻的主要暴发区域,且该区域为蓝藻重度暴发区,从气象条件分析是巢湖每年 5~11 月盛行东北偏东风所致。

(2) 巢湖蓝藻可以在温度范围较大的环境里生长繁殖,每年 6~10 月期间气温基本满足巢湖蓝藻水华暴发的条件,5、11 月气温不完全满足蓝藻水华积聚的条件。持续的高温(5 d 积温 > 165.0 ℃),不利于蓝藻生长繁殖,气温不是蓝藻水华积聚面积的关键气象因子,只是蓝藻水华暴发的基本条件。降水的影响主要是对其他气象条件的改变而不是直接对蓝藻生长和水华形成的直接影响。充足的日照是水华形成的必要条件。低风速(< 3.8 m/s)有利于水体中已经存在的大量藻类上浮,是蓝藻水华暴发的重要前提条件。其他气象条件不变的情况下,蓝藻持续暴发的第 2 天如果风向突然变化,蓝藻水华的面积迅速减小。

(3) 该研究是假定卫星遥感资料能完全代表巢湖蓝藻水华的情况,但实际上卫星遥感数据受天气影响较大,尤其是在夏季容易受到云的遮挡。且目前一天仅有 2 次有效的蓝藻水华监测图片,实际上每天不同时段蓝藻水华面积有所不

(下转第 198 页)

少趋势。由累积距平曲线(图 6b)可见,西北部地区 5~9 月降水量大致存在 3 个转折点,分别位于 1963、1980 和 1998 年。1961~1963 年,累积曲线存在上升趋势;1964~1980 年,累积曲线稳中有降,其中,20 世纪 60 年代中期~70 年代中期降水以年际变化为主;1981~1992 年,累积曲线表现为上升趋势,以正距平为主,平均距平 21.0 mm;1993~1998 年降水年际变化较小,1999~2010 年累积曲线呈下降趋势,降水以负距平为主,平均距平 -39.2 mm。

**4.3.2 突变检验。**由 Mann-Kendall 趋势检验曲线(图 6c)可见,西北部地区降水量在 20 世纪 70 年代末减少趋势显著,其他时间降水的变化趋势不显著;UF、UB 曲线在置信区间内多次相交,但仅在 1963 年相交后通过了显著水平临界线,确定 1963 年为降水变化的 1 个突变点。

**4.3.3 小波分析。**从图 6d 可看出,近 50 年西北部 5~9 月降水存在 2~4、10~15 和 20~30 年尺度的周期变化,2~4 和 10~15 年尺度的周期变化存在阶段性特征。2~4 年年际尺度周期信号在 20 世纪 70 年代以前、80 年代初~90 年代初以及 2000 年以后均有体现,信号较强;10~15 年尺度周期信号在 60~80 年代较强,频域中心位于 11 年左右;小波变换顶部等值线密集,表明降水可能存在 20~30 年年代际尺度的周期变化,且在整个时域中均有体现,频域中心位于 24 年左右,将整个时域划分为 1961~1964、1984~1998 年 2 个多雨偏涝期和 1965~1983、1999~2010 年 2 个少雨偏旱期。

## 5 小结

(1)黑龙江省作物生长季降水异常可分为 3 区,分别为西南部平原、东部三江平原和西北部大小兴安岭。

(2)近 50 年来 3 个分区的降水均呈减少趋势。西南部地区降水年际变幅最大,旱涝事件交替频繁,西北部地区降水的旱涝事件发生概率最小,强度小,20 世纪 80 年代以前降水变化相对稳定,70 年代末~80 年代初西南部平原和西北

部大小兴安岭降水减少趋势显著,其他时段内降水无显著变化趋势,不同分区内降水变化存在阶段性特征。

(3)近 50 年 3 个降水异常分区降水均存在不同尺度的年际、年代际变化特征,且局部化特征明显,差异较大。西南部准 11 年尺度的周期信号和东部 2~4 年尺度周期振荡在整个时域中均有体现。

## 参考文献

- [1] 任国玉,初子莹,周雅清. 中国气温变化研究最新进展[J]. 气候与环境研究,2005,10(4):701-716.
- [2] 孙凤华,杨修群,路爽. 东北地区平均、最高、最低气温时空变化特征及对比分析[J]. 气象科学,2006,26(2):157-163.
- [3] 龚龚,陆维松,陶丽. 东北春夏季降水气温异常的时空分布以及与旱涝的关系[J]. 南京气象学院学报,2006,26(3):349-357.
- [4] 韩艳凤,江志红,王冀. 等. 东北地区夏季降水时空变化特征[J]. 气象科技,2005,33(2):136-141.
- [5] 杨素英,孙凤华,陈岩. 近 45a 东北地区春季降水异常的气候特征[J]. 南京气象学院学报,2005,28(2):197-204.
- [6] 蔡福,明惠青. 1961 年~2004 年东北地区四季降水的时空演变特征[J]. 资源科学,2008,30(10):1456-1662.
- [7] 孙力,安刚,唐晓玲. 东亚地区夏季 850hPa 南风异常与东北旱涝的关系[J]. 大气科学,2003,27(3):425-434.
- [8] 刘宗秀,廉毅. 北太平洋涛动区 500hPa 高度场季节变化特征及其对中国东北地区降水的影响[J]. 应用气象学报,2003,14(5):553-561.
- [9] 贾小龙,王谦谦. 东北地区汛期降水异常的大气环流特征分析[J]. 高原气象,2006,25(2):309-318.
- [10] 冯新,王新,王元. 东北地区汛期降水与全球大洋海温异常关系的 SVD 分析[J]. 热带气象学报,2006,22(4):367-373.
- [11] 黄嘉佑. 转动主分量分析在天气气候分析中的应用[J]. 气象,1988,14(9):47-51.
- [12] 施能. 气象统计预报[M]. 北京:气象出版社,2009:32-34.
- [13] 符淙斌,王强. 气候突变的定义和检测方法[J]. 大气科学,1992,16(4):482-493.
- [14] 马柱国,符淙斌. 1951~2004 年中国北方干旱化的基本事实[J]. 科学通报,2006,51(20):2429-2439.
- [15] 黄海仁,孙卫国,程炳岩. Nino 海区 SSTA 的时频结构特征[J]. 气象科技,2005,33(3):218-226.
- [16] 姜德君,孙卫国,李志民. 齐齐哈尔市气温变化的小波分析[J]. 气象科技,2004,32(6):475-478.
- [17] NORTH G R, THOMAS L B, CAHALAN R F. Sampling errors in the estimation of empirical orthogonal functions[J]. Mon Wea Rev, 1982, 110: 699-706.

(上接第 193 页)

同。所以需要借助其他观测方法,得到更长时间序列和完整的巢湖蓝藻水华监测资料,全面进行水质、水文、气象条件综合分析,科学建立蓝藻水华的潜势预报指标和程度预报回归方程。

## 参考文献

- [1] 陈翔,禹继华,刘杰. 等. 洪泽湖蓝藻暴发的气象条件分析[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(15): 8141-8142, 8177.
- [2] Australian and New Zealand Environment and Conservation Council. Australian Water Quality Guidelines for Fresh and Marine Waters, National Water Quality Management Strategy [R]. Canberra: Australian and New Zealand Environment and Conservation Council, 1992.
- [3] 任健,蒋名淑,商兆堂. 等. 太湖蓝藻暴发的气象条件研究[J]. 气象科

学,2008,28(2):221-226.

- [4] 张红,黄勇,姚筠. 等. 巢湖藻类遥感监测和气象因子分析[J]. 环境科学与技术,2009,31(1):118-121.
- [5] 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.
- [6] 梁宵,殷福才,孙世群. 等. 基于人工神经网络的巢湖营养化分区分区评价[J]. 中国环境监测,2007,23(3):74-77.
- [7] 黄伟. 蓝藻水华 Probit 短期预测模型[J]. 江苏农业科学,2014,42(1):337-342.
- [8] 闻建光,肖青,柳钦火. 等. 基于混合光谱理论的太湖水体叶绿素 a 浓度提取[J]. 地理科学, 2007, 27(1):92-97.
- [9] 季健,孔繁翔,于洋. 等. 太湖越冬蓝藻空间分布的初步研究[J]. 湖泊科学,2009,21(4):490-494.
- [10] 曾志远. 卫星图像计算机分类与滴血运用研究[M]. 北京:科学出版社, 2004.