

# 卫星遥感太湖蓝藻水华分布及其 气象影响要素分析

武胜利<sup>1</sup> 刘 诚<sup>1</sup> 孙 军<sup>2</sup> 李三妹<sup>1</sup> 李亚军<sup>1</sup> 孔 期<sup>2</sup>

(1. 国家卫星气象中心, 北京 100081; 2. 中央气象台)

**提 要:** 分析 2003—2007 年太湖蓝藻水华遥感监测信息指出, 近年来, 太湖蓝藻水华的时空分布具有如下特征: (1) 太湖蓝藻水华爆发的频次和覆盖面积有扩大的趋势; (2) 蓝藻水华爆发时间范围有从夏、秋季向温度更低的冬、春季发展的趋势; (3) 蓝藻水华爆发频次最高的区域以及爆发最严重的区域主要集中在太湖西部和北部。蓝藻水华爆发的影响要素中除了污染物质的分布, 还包括各种气象要素。经过地面气象观测资料与卫星观测资料的对比分析, 发现温度、风、光照、降水等气象要素都会对蓝藻水华爆发起到一定程度的影响作用。其中温度、光照因素对蓝藻水华爆发起到促进作用, 风、降水因素对蓝藻水华爆发起到抑制作用。同时注意到, 由于湖泊污染情况正处在不断变化之中, 因而各种气象要素对蓝藻水华爆发的影响程度也在发生着变化。

**关键词:** 蓝藻水华 遥感 污染 气象要素

## Remote Sensing and Analysis on Meteorological Factors of Blue Algal Bloom in Lake Tai

Wu Shengli<sup>1</sup> Liu Cheng<sup>1</sup> Sun Jun<sup>2</sup> Li Sanmei<sup>1</sup> Li Yajun<sup>1</sup> Kong Qi<sup>2</sup>

(1. National Satellite Meteorological Center, Beijing 100081;

2. Central Meteorological Observatory)

**Abstract:** The remote sensing result of blue algal bloom in Lake Tai from 2003 to 2007 shows that in recent years the blue algal bloom in Lake Tai has the following characters: (1) The frequency and area of the bloom trend increasing; (2) The break out seasons of the bloom is tending to winter and spring; (3) The highest frequency and the most serious areas of bloom appear mostly to be in the west and north of the Lake. Beside the contamination, meteorological characters can also impact on the break out of blue algal bloom. Through the analysis between field measurement and remote sensing data, it was found that the temperature, wind, light and precipitation can all impact on the bloom. In the above four factors,

temperature and light have a positive effect while wind and precipitation have a negative effect. It was also noticed that because of the changing of pollution's state, the degrees of effect are also changing.

**Key Words:** blue algal bloom satellite remote sensing pollution meteorological factor

## 引 言

由于关系到饮用水的安全,太湖蓝藻水华爆发近年来已经成为经济发达的长三角区域所面临的各种环境污染问题中最引人注目的问题之一<sup>[1-2]</sup>。要对太湖蓝藻进行有效治理,必须对其发生、发展的整个过程有清晰的把握。太湖蓝藻水华的爆发具有爆发面积大、时空变化剧烈的特点。对于上述特点,传统的逐点监测方式在时效性与空间覆盖度两方面都无法满足需求。卫星遥感作为一种全新的监测手段,具备了高空间覆盖度、高时间分辨率的特点,能够很好地满足湖泊蓝藻水华爆发监测的要求<sup>[3-4]</sup>。

在卫星遥感手段的支持下,通过对长时间序列的大量卫星遥感影像进行分析,我们能够在相应时间尺度上得到太湖蓝藻水华爆发的时间、空间分布特征。其结果可作为决策分析的基础数据,对太湖蓝藻污染的治理工作能够起到一定的支持作用。

在一定的湖泊营养状况条件下,蓝藻水华的爆发主要受到气象要素的影响。蓝藻水华对气象要素的响应关系是内陆湖泊蓝藻发生发展机理研究中相当重要的一个环节。在本文中,我们借助于卫星遥感手段,获取感兴趣时间尺度内大范围的蓝藻水华分布空间信息,再将上述信息与地面气象台站获取的气象信息相结合,通过时间尺度上的纵向分析,即可得到不同气象要素对蓝藻水华爆发的不同影响情况。

## 1 卫星遥感监测蓝藻水华的理论基础

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;在可见光红光波段有较强的吸收,其反射率甚至低于水体(图 1)。利用近红外波段和可见光红光波段生成的归一化植被指数(NDVI)可以反映蓝藻水华信息,在实际监测中,重度蓝藻水华的植被指数甚至超过陆地的植被信息。在湖泊水面单一下垫面类型条件下,湖面上出现的蓝藻水华可以很清楚地被识别出。

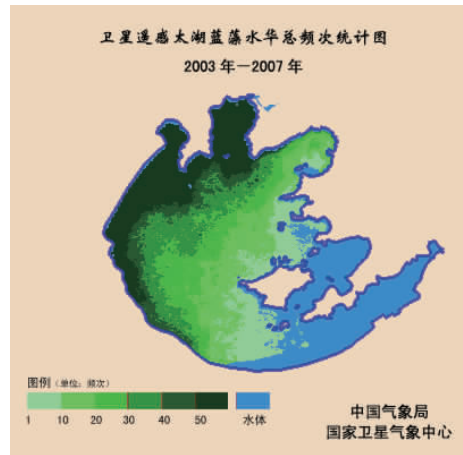


图 1 卫星遥感太湖蓝藻水华频次累计图(2003—2007年)

## 2 太湖蓝藻水华爆发时空分布特点

### 2.1 2003—2007年太湖蓝藻水华爆发空间分布特点分析

通过 2003—2007 年逐年 4—10 月的 419 幅卫星遥感太湖蓝藻监测图像的信息分析,2003 年以来太湖蓝藻水华的主要特点是:近年来太湖蓝藻水华程度明显增加。2006 年和 2007 年太湖蓝藻水华出现的频次较前 3 年明显增多(2006 年 12 月份和 2007

年春季 4 月份均出现),蓝藻水华出现的概率(出现蓝藻水华的日数与总监测图像数之比值)也较前三年明显增加;蓝藻水华范围较前 3 年明显增大,有时蓝藻覆盖范围占太湖水域面积一半以上,重度蓝藻水华区域增大明显。蓝藻水华出现频次和重度水华出现频次较多的区域主要在太湖西北部和北部梅梁湾等水域,东南部极少出现。

利用 2003 年以来卫星遥感太湖蓝藻水

华信息制作的频次统计图(图 2)反映出:2003 年以来,太湖湖区绝大部分水域均出现过蓝藻水华。蓝藻水华出现频次最高的区域为太湖西部和北部梅梁湾等水域(尤其是西北部近岸水域频次最高,达 50 次以上);其次是中西部、中北部,在 40 次和 50 次之间;再次是西南部和东北部,在 20 次至 40 次之间;中东部和中南部较少出现,在 20 次以下;东南部极少出现蓝藻水华。

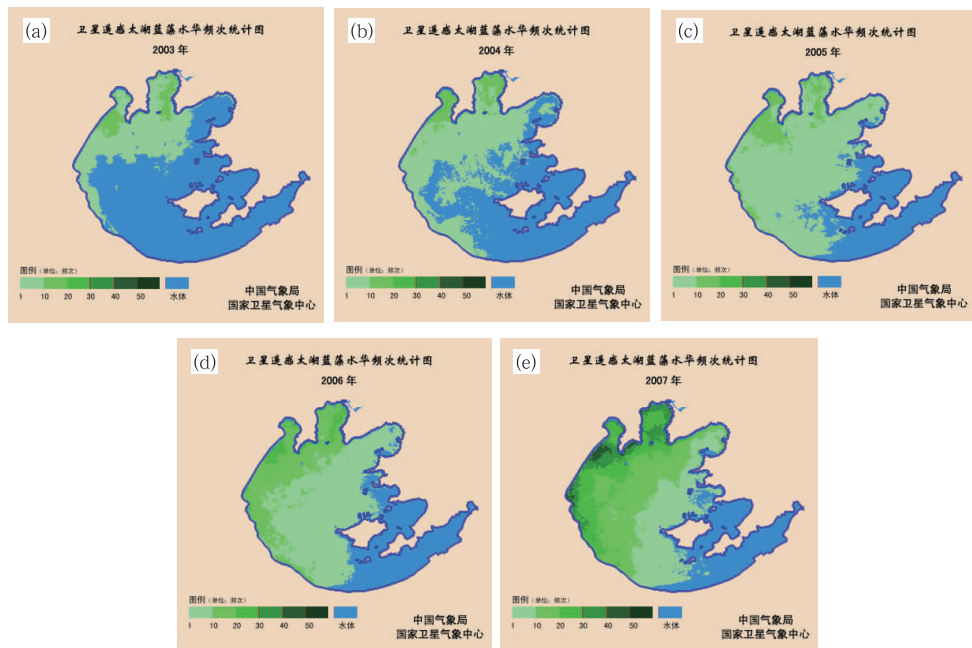


图 2 2003—2007 年逐年太湖蓝藻水华分布空间统计图

通过对 2003—2007 年 5 年间 4 月至 10 月卫星遥感影像的分别分析,我们可以得到逐年的太湖蓝藻水华空间分布统计图(图 2)。

2003 年(图 2a)蓝藻水华主要出现在太湖西北部和北部梅梁湾,频次不到 10 次;

2004 年(图 2b)蓝藻水华主要出现在西部、北部、中西部及西南部,频次不到 10 次;

2005 年(图 2c)太湖超过一半的水域都曾受到蓝藻水华影响,蓝藻水华主要出现在

太湖西部、北部、中部及西南部,频次不到 10 次;

2006 年(图 2d)太湖大部分水域均曾出现过蓝藻水华,仅东南部极少出现,频次较前 3 年有所增加,其中频次较高的水域主要在太湖西北部和北部,频次在 10 次以上,其它水域不到 10 次;

2007 年(至 10 月 20 日)(图 2e)太湖大部分水域均出现过蓝藻水华,影响范围较 2006 年略有增大,频次较 2006 年明显增加。

其中太湖西部、北部频次在 20 次以上,西北部近岸处水域达 30 次以上。中北部和中西部达 10 次以上,中东部、南部部分水域不到 10 次。

上述结果表明:

(1) 从 2003 至 2007 年,太湖的蓝藻水华分布区域以北部、西部为主,其中太湖北部的梅梁湾区域是太湖蓝藻水华影响最严重的区域;

(2) 太湖南部、东部区域受蓝藻水华影响相对较小;

(3) 太湖中部区域在 2003 年期间受蓝藻水华影响较小,但从 2004 年开始,蓝藻水华影响范围开始逐步涉及这一区域,严重程度也逐步增加。

## 2.2 2003—2007 年太湖蓝藻水华爆发时间分布特点分析

2003—2007 年的 4—10 月间,共获取 419 幅太湖区域的晴空 MODIS 影像,其中出现明显蓝藻水华的影像为 235 幅,具体在各年的分布情况如表 1 所示。

表 1 2003 年—2007 年获取晴空影像及明显蓝藻水华影像数统计

年份	总晴空影像(幅)	明显蓝藻水华影像(幅)
2003	70	32
2004	85	37
2005	90	42
2006	72	43
2007	102	81

考虑到每年获取的晴空影像总数有一定差异,因此,引入蓝藻水华出现概率( $P$ ):

$$P = \frac{T_{\text{blue}}}{T_{\text{cloudless}}} \times 100\%$$

其中: $P$ ——蓝藻水华出现概率; $T_{\text{blue}}$ ——蓝藻水华出现的影像数; $T_{\text{unclouded}}$ ——总晴空影像数。

利用表 1 数据,可以得到 2003—2007 年

的蓝藻水华出现概率分布图(图 3)。

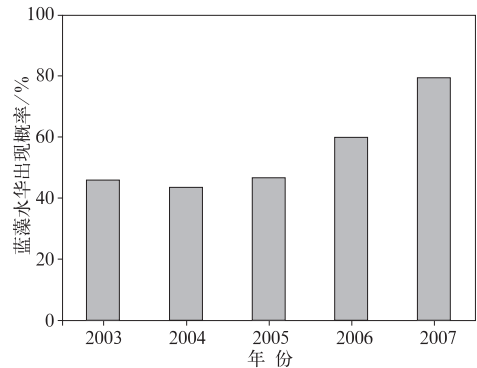


图 3 卫星遥感太湖蓝藻水华出现概率逐年统计(2003—2007)

由图 3 可以看到,2003—2005 年,太湖蓝藻水华出现概率比较稳定,保持在 45% 左右,2006 年,这一数字增加到 60%,到 2007 年,这一数字再次猛增到 80%。

为了进一步细化分析结果,我们给出 2003—2007 年逐月蓝藻水华出现频次统计图(图 4)。

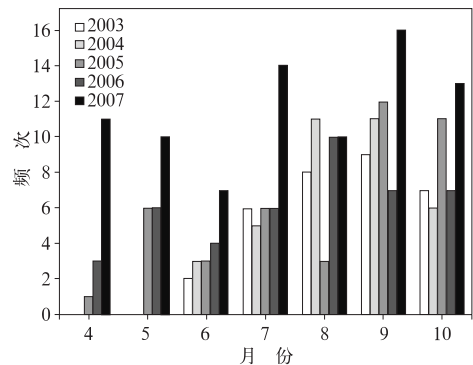


图 4 卫星遥感太湖蓝藻水华出现概率逐月统计(2003—2007)

由图 4 可见,2003—2004 年间,太湖蓝藻水华从 6 月份开始出现,出现频次逐步递增,峰值出现在 9 月,其出现频率的分布具有明显的季节性特征;2005—2006 年间,太湖在 3—5 月就开始有蓝藻水华出现;到 2007 年,太湖蓝藻水华在 3—10 月之间均大量出现,季节性特征已不明显。从上述分析可以看出,太湖蓝藻水华爆发已经由季节性爆发

逐步发展为基本全年爆发,由此更加凸现了太湖污染治理的刻不容缓。

从太湖蓝藻水华爆发的频次上,已经得到了2003—2007年的递增趋势,为了描述太湖蓝藻水华爆发的严重性,还需要从每次爆发的影响面积方面进行分析。通过2003年—2007年的419幅太湖区域MODIS晴空影像,得到了每次蓝藻水华爆发的影响面积,考虑到每年的蓝藻水华爆发次数不同,计算得到了每次爆发的平均影响面积,见图5。

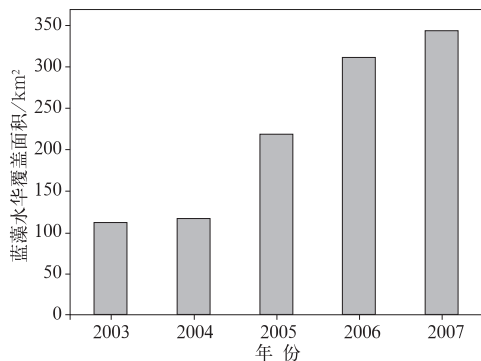


图5 卫星遥感太湖蓝藻水华单次平均覆盖面积年际变化(2003—2007)

由图5可见,2003—2004年太湖蓝藻水华爆发的单次覆盖面积保持在110km<sup>2</sup>左右;2005年增加到217km<sup>2</sup>,几乎翻倍;2006年达到309km<sup>2</sup>;2007年在2006年基础上再次增加,达到343km<sup>2</sup>,是2003年的3倍左右。

从太湖蓝藻爆发的频率和强度两方面分析了2003—2007年的时间序列变化情况。从分析结果中可以看到:

(1) 在爆发时间上,逐步向温度较低的月份发展;

(2) 在爆发面积上,从110km<sup>2</sup>逐步增加到343km<sup>2</sup>,5年时间增加了2倍左右。

### 3 影响太湖蓝藻水华爆发的气象要素分析

#### 3.1 温度

从2003年6月到2007年10月,太湖湖

面共发生较重的蓝藻水华事件有44天,事件发生日的平均气温为从15.4℃到32.8℃不等,平均为25.9℃,最高气温都在20℃以上,一般在25℃~35℃之间,日最高气温超过35℃时也有较重级别以上事件发生。从2007年6—9月太湖蓝藻水华集中爆发来看,这一段时间的平均气温为28℃,最高气温平均为32℃,适于蓝藻水华生长繁殖。

但是,太湖在2007年12月8日13时以及2008年1月3日10时两次爆发了蓝藻水华,而当时的温度分别为10.6℃和1.7℃,由此可见,温度并非太湖蓝藻水华爆发的必要条件,当其他条件(如湖泊水质情况)发生变化时,爆发蓝藻水华的温度条件也会随之改变。

#### 3.2 风

从2003年6月到2007年10月,太湖湖面发生的44天较重蓝藻水华事件的平均风速分布来看,平均风速最小为0.6m·s<sup>-1</sup>,最大为4.5m·s<sup>-1</sup>,一般都在3m·s<sup>-1</sup>以下,总的平均为2.1m·s<sup>-1</sup>,也就是说蓝藻水华爆发时的风速较小。以2007年较重以上级别出现日数最多的7月和9月为例,蓝藻水华事件爆发时的风速都在2.7m·s<sup>-1</sup>以下。

在风力较大的情况下,蓝藻水华会得到一定程度的抑制。以2007年5月19日和5月20日的监测情况为例,19日太湖蓝藻水华大面积爆发,覆盖了太湖北部、西部及中部的部分区域,而到了20日,仅太湖北部的小范围内有蓝藻水华出现。对比两日的气象条件,我们发现温度和降雨方面均无差异,而风力则有较大不同(见图6)。太湖湖面风速在19日白天到下午15时为止,始终在3m·s<sup>-1</sup>以下。19日18时,风力开始增加,到22点,风力增加到10m·s<sup>-1</sup>,20日全天风力始终保持在5m·s<sup>-1</sup>以上。由此可见,较大的湖面风速能够对蓝藻水华聚集起到抑制作用。



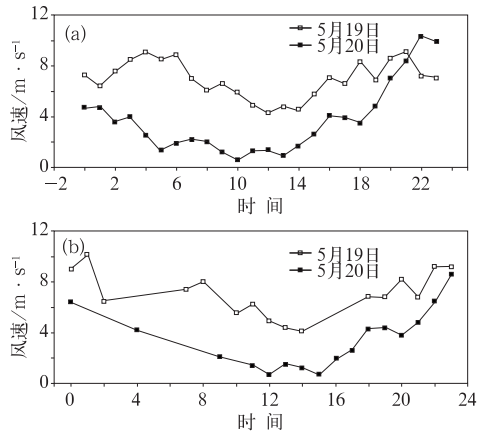


图 6 太湖气象站 2007 年 5 月 19—20 日风速  
(a)小雷山站, (b)无锡站

### 3.3 光照

从 2003 年 6 月到 2007 年 5 月, 共有 16 天较重以上级别蓝藻水华爆发事件, 对照当天的日照时数, 可以看出平均日照达 8.6 小时, 最少也不低于 6 小时, 值得注意的是 2006 年 11 月 2 日的事件日照时数为 0, 经查天气实况, 吴县东山站这一天都为轻雾, 遮蔽日光, 所以日照时数为 0, 但蓝藻仍然大面积爆发, 说明充足的日照是蓝藻水华爆发的条件之一, 但并非必要条件。

### 3.4 降水

与风力类似, 降水同样可以有效抑制蓝藻水华的爆发。以 2007 年 9 月 3 日的降雨过程为例, 在降水过程之前的 8 月 30 日, 太湖湖面观测到了大面积的蓝藻水华信息, 经过 9 月 3 日的降雨过程(降雨量 50mm), 9 月 6 日的 MODIS 晴空影像显示, 太湖湖面基本没有蓝藻水华信息。

### 3.5 小结

(1) 在蓝藻水华爆发的原因之中, 底泥污染、外源污染等污染源造成的水质恶化是根本原因, 占支配地位, 各类气象要素是次要

因素, 为从属地位;

(2) 一定程度的降水、风能够有效对蓝藻水华爆发起到抑制作用;

(3) 持续高温、光照对蓝藻水华爆发起到诱导作用, 但由于太湖的营养物质状况在变化之中, 因而诱发蓝藻水华爆发的温度、光照条件也在不断变化。

## 4 结论

通过对 2003—2007 年的太湖区域 MODIS 影像分析, 我们得到了太湖蓝藻水华爆发情况在 2003—2007 年期间逐步加重这一主要结论。同时, 通过气象条件与卫星观测结果的对比分析, 我们认为温度、光照对太湖蓝藻水华爆发起到正向促进作用, 而较大的湖面风和降雨则对太湖蓝藻水华爆发起到一定的抑制作用。

## 参考文献

- [1] 秦伯强, 王小冬, 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.
- [2] 秦伯强, 吴庆龙, 高俊峰. 太湖地区的水资源与水环境——问题、原因与管理[J]. 自然资源学报, 2002, 17(2): 221-228.
- [3] Robert K. Vincenta, Xiaoming Qina, R. Michael L. et. al. Phycocyanin Detection from Landsat TM Data for Mapping Cyanobacterial Blooms in Lake Erie[J]. Remote Sensing of Environment, 2004, 89(3), 381-392.
- [4] 李亚春, 徐萌, 孙涵. 大型水体在干旱遥感监测业务中的应用[J]. 气象, 2002, 28(7): 26-28.