

基于气象条件的太湖湖泛预警研究

王成林¹, 张宁红², 张 咏², 黄 娟²
(1. 解放军理工大学气象学院, 江苏 南京 211101; 2. 江苏省环境监测中心, 江苏 南京 210036)

摘 要: 2007年5月与2008年5月太湖水域产生的湖泛主要是由蓝藻水华引发的, 但是蓝藻水华单纯地在湖湾或岸边浅水区大量堆积并不一定引发湖泛。研究发现, 2007年5月与2008年5月的湖泛现象存在相同的触发机制: 3 d以上时间维持高温(平均气温大于20℃), 微风(平均风速小于4 m/s), 风向基本一致(风向平均绝对偏差小于20°); 其后, 冷空气过境使得风速短时增大, 风向调转180°左右, 气温迅速降低, 并且这种气象条件持续1 d以上。在此研究基础上, 给出了切实可行的太湖湖泛预警方案。

关键词: 太湖; 蓝藻; 湖泛; 外因; 触发机制; 冷空气
中图分类号: P49, X524 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-6732(2010)-05-0001-04

The Research on Warning of Black Water Cluster in Taihu Lake Based on Meteorological Factors

WANG Cheng-lin¹, ZHANG Ning-hong², ZHANG Yong², HUANG Juan²
(1. School of Meteorology, PLA University of Science and Technology, Nanjing, Jiangsu 211101, China;
2. Jiangsu Provincial Environmental Monitoring Center, Nanjing, Jiangsu 210036, China)

ABSTRACT: The phenomenon of black & odorous water masses on the water of Taihu Lake (also called “Hufan”) in May 2007 and May 2008 was mainly caused by blue-green algal bloom. But “Hufan” does not simply result from blue – green algal bloom which moves and aggregates in the bay or shallow area. In this present study, we analyzed conventional observational data from Wuxi meteorological observing station near Taihu Lake and observed same external causes and trigger mechanism between two “Hufans”: weather conditions of high temperature(mean temperature >20℃), gentle breeze(mean velocity <4 m/s) and basically-consistent wind direction(mean absolute deviation >20°) last more than 3 days. Then, cold air passes through this area; air temperature drops rapidly, and wind speed increases in a short period of time, with wind deflecting approximate 180° for more than 1 day. Finally, a theoretic basis for actualizing early warning of Hufan in Taihu Lake was proposed.

KEY WORDS: Taihu lake; blue-green algal; black water cluster; external causes; trigger mechanism; cold air mass

0 前言

关于太湖水域湖泛, 至今没有统一的定义与解释。谢平研究认为, 在枯水年的黄梅期或在汛期低水位、高温少雨的晴好天气, 在湖湾底泥沉积较厚的浅水区, 由于太阳辐射增强, 水温升高, 底泥发生强烈厌氧分解, 释放出甲烷、硫化氢等气体, 水质变劣产生臭味从而形成湖泛^[1]。陆桂华等研究认为, 湖泛(亦称“黑水团”或“污水团”)是指湖泊富营养化水体在藻类大量爆发、积聚和死亡后, 在适宜的气象、水文条件下, 与底泥中的有机物在缺氧和厌氧条件下产生生化反应, 释放硫化物、甲烷和二甲基三硫等硫醚类物质, 形成黑褐色伴有恶臭的“黑水团”, 从而导致水体水质迅速恶化、生态系统受到严重破坏的现象^[2]。上述两种定义与解释的最

大不同点是, 后者强调湖泛是由蓝藻水华引发的。

2007年5月与2008年5月太湖水域湖泛主要是由蓝藻水华引发的。孔繁翔、陆桂华等研究了这两年的湖泛现象, 一致认为近年来太湖湖泛产生的主要原因是, 随着经济迅速发展, 太湖周边经济发达城市(无锡、常州、苏州等)的工业、农业、生活污水不断汇入太湖, 使得太湖水体富营养化程度日益加重, 造成蓝藻水华频繁爆发, 蓝藻在湖湾、沿岸等浅水区大量堆积, 腐烂沉降, 在适当的气象和水文条

收稿日期: 2010-02-01

基金项目: 江苏省环境监测科研基金项目(0919), 解放军理工大学基础理论研究基金项目(0805)。

作者简介: 王成林(1977—), 男, 讲师, 博士在读, 从事水环境模拟研究。

件下,与水底陆源污染物混合在一起发生强烈厌氧反应,其反应的产物进入水体及水表,形成黑臭污水团^[2-4]。这种太湖水污染现象与人们平时所说的湖泛有所区别,笔者将这种主要由蓝藻水华引发的水污染现象称为“蓝藻型湖泛”(以下简称“湖泛”)。

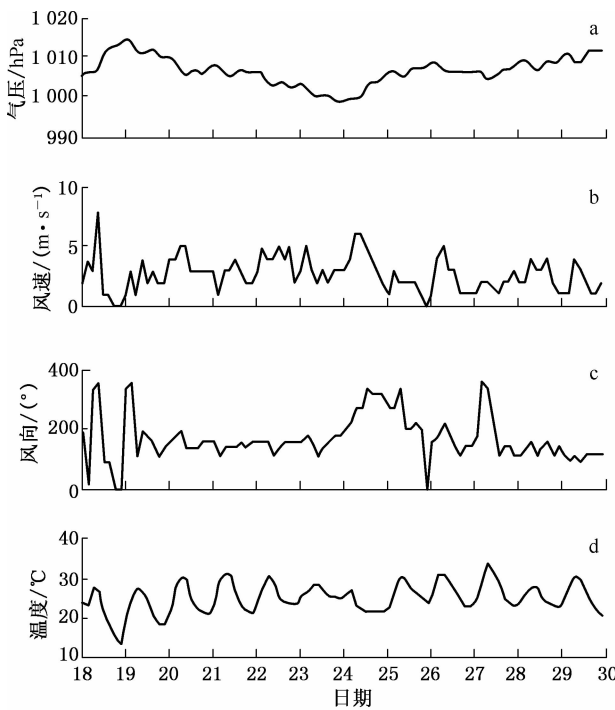
气象条件对蓝藻水华的形成和迁移聚集有着重要的影响,是引发湖泛的重要诱因。吴晓东、孔繁翔等研究发现,高温、强光照的条件有利于蓝藻生物体的生长^[4-6];孙小静、尤本胜等研究发现,小风浪有利于蓝藻生长或漂浮,而大风浪对其生长或漂浮不利^[7, 8]。所以,较长时间维持高温、微风气象条件是蓝藻水华大面积爆发的主要外因。陆桂华等从风向、气温、降水3个方面分析了气象条件对湖泛的影响,认为太湖相对稳定的风场易使藻类在太湖西北沿岸大量堆积,气温持续升高促进了藻类死亡和不完全分解,降水较少导致了水位偏低,这些均有利于湖泛的发生。由此可见,高温、微风气象条件有利于藻类单体的生长和水华的形成,同时高温也有利于藻类死亡和不完全分解,稳定的风向导致藻类在局部地区大量堆积,这是湖泛形成的气象条件^[2]。

然而,蓝藻水华在湖湾或岸边浅水区大量堆积并不一定引发湖泛,所以2007年5月与2008年5月的湖泛现象必定存在特殊的外界诱因。20世纪90年代后期至今,太湖几乎每年都发生较大面积的蓝藻水华,大量藻华常常在湖湾和浅水区堆积,但并不是每次都形成湖泛。所以,关于触发2007年5月与2008年5月太湖湖泛现象形成的外界诱因研究,是能否进行湖泛预警的关键所在。国内外有关湖泛形成的外界触发机制研究尚不多见^[2]。据此,笔者将从气象学角度分析这种触发机制,并在此基础上提出湖泛预警方案。

1 2007年5月与2008年5月太湖水域湖泛期间气象条件特征分析

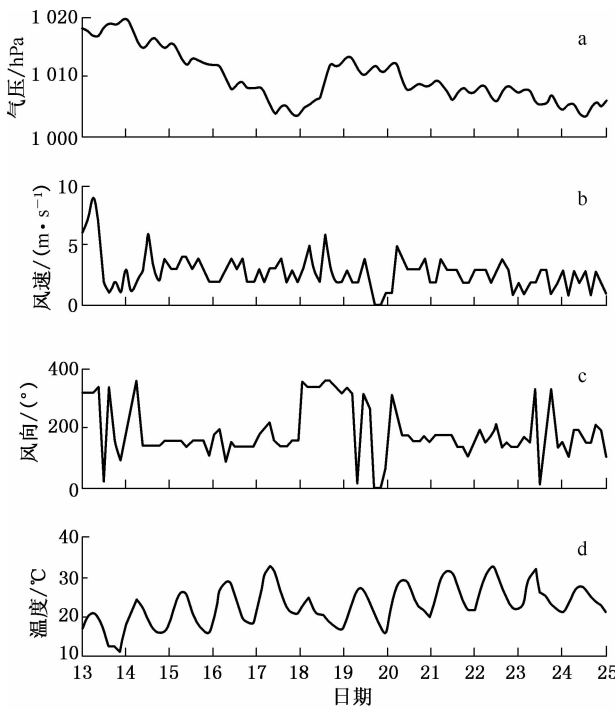
针对上述两次湖泛发生的时间,笔者分别选择了2007年5月18日00时(世界时,下同)至2007年5月29日21时、2008年5月13日00时至2008年5月24日21时两个时段无锡气象观测站(站号为58354)实测的气象四要素进行分析。这4个要素分别为气压、风速、风向、气温,每日观测时间为00时,03时,06时,09时,12时,15时,18时,21时,共计8次观测。图1、图2分别为上述两个时

段气象四要素随时间的变化。



注: c图中0为静风, 南风为180°, 北风为360°, 顺时针旋转。

图1 2007年5月湖泛发生前后气象要素随时间的变化



注: c图中0为静风, 南风为180°, 北风为360°, 顺时针旋转。

图2 2008年5月湖泛发生前后气象要素随时间的变化

对比图1与图2可以发现,这两个时段各气象要素变化非常相似,都是由稳定到突变的过程。将

2007年5月19日06时至24日03时、2008年5月14日09时至17日21时分别定义为这两次湖泛形成前的稳定阶段,结合表1可以看出,这两个时段持续时间都超过72 h(3 d),气压最大降幅都超过10 hPa,平均气温都大于20℃,最高气温都高于30℃,平均风速均小于4 m/s,平均风向都为东南风(150°左右),平均风向绝对偏差都小于20°。所以,湖泛形成前气象要素演变的共同特征为:气压逐渐降低、风速较小、风向基本一致、气温逐渐升高。将2007年5月24日06时至25日06时、2008年5月18日00时至19日03时分别看作这两次湖泛形成时的突变阶段,从表1可以看出,这两个时段持续时间都超过24 h(1 d),气压最大升幅都超过7 hPa,平均气温都大于20℃,最高气温都低于30℃,平均风速增大(大于稳定阶段平均风速,且短时风速大于6 m/s),平均风向都为西北风(大于300°)。所以,湖泛形成时气象要素演变的共同特征为:气压迅速升高、风速短时增大、风向顺时针偏转接近180°、气温迅速降低。

表1 2007年与2008年湖泛形成前后气象要素对比			
要素变化		2007年5月	2008年5月
稳定阶段	持续时间/h	118	85
	气压最大降幅/hPa	13.8	13.2
	平均风速/(m·s ⁻¹)	3.20	3.03
	平均风向/(°)	155.75	154.50
	平均风向绝对偏差/(°)	19.31	18.50
	平均气温/℃	25.06	22.38
突变阶段	最高气温/℃	31.0	32.8
	持续时间/h	25	28
	气压最大升幅/hPa	7.1	8.6
	平均风速/(m·s ⁻¹)	3.56	3.10
	平均风向/(°)	302.22	342.00
	平均风向绝对偏差/(°)	28.64	10.80
	平均气温/℃	23.33	20.62
	最高气温/℃	29.8	25.0

在湖泛形成前后,出现上述天气现象是由于冷空气过境之前,来自西太平洋的暖湿气团长时间控制着长江中下游地区,盛行东南风,风速较小,气温逐渐升高,气压逐渐降低,形成暖低压中心。当来自西北的较强冷空气过境后,风速增大,风向顺时针偏转为西北风,气温迅速降低,气压迅速升高,转为冷高压控制。这种天气现象的转变必将对太湖

水动力和水生生物产生较大影响。

2 太湖湖泛形成的外因及触发机制分析

2.1 太湖湖泛形成的外因

在太湖营养盐浓度没有得到有效控制的情况下,上述2007年5月和2008年5月湖泛发生前,高温(平均气温大于20℃)、微风(平均风速小于4 m/s)气象条件维持时间大于72 h,这使得蓝藻水华大面积爆发^[9, 10]。其次,蓝藻水华在风向一致(平均风向绝对偏差小于20°)的东南风长时间驱动下(以平均流速10 cm/s计算,72 h水平移动距离可达25.92 km),在下风向西北太湖沿岸浅水区大量堆积,下沉腐烂,发生厌氧反应^[11]。再次,在长时间一致风向驱动下,为了维持与风应力相平衡,水体会形成沿岸流和下沉流,此下沉流也有利于蓝藻下沉。再加上长时间微风、高温使得垂直方向上水体扰动较小、水体层结稳定(表层温度高于底层温度)。上述原因共同作用,使得大量蓝藻较长时间堆积在水底不发生再悬浮,在陆源污染物的共同作用下发生强烈厌氧反应,在水底形成大量黑臭污水团。

2.2 太湖湖泛形成的触发机制

当冷空气过境时,气压迅速升高、风速短时增大、风向顺时针偏转接近180°、气温迅速降低。首先,气温迅速降低,使得水体垂直方向温度梯度较小,其层结稳定度降低;其次,风速短时增大,使得水体垂直方向上扰动增大;最后,风速短时增大、风向180°调转,使得蓝藻水华大量堆积的岸边出现较强的离岸流,根据补偿原理,在离岸流出现的岸边会有涌升流产生。这3种原因共同作用,使得水底已经形成的大量黑臭污水团被带至水表,形成湖泛现象。

综上所述,湖泛形成的气象原因是:较长时间维持高温、微风、风向基本一致,使得蓝藻水华大面积爆发,并在下风向岸边浅水区大量堆积,下沉腐烂,发生强烈厌氧反应,在水底形成大量黑臭污水团^[12]。湖泛形成的触发机制是:冷空气过境使得风速短时增大、风向调转180°左右、气温迅速降低。这种气象条件的短时突变,触发了湖泛的形成。

3 基于气象条件的太湖湖泛预警方案

根据上述研究结论,太湖湖泛形成的过程可以

分为两个阶段,第一阶段为蓝藻水华大面积爆发并受风场的驱动在湖湾大量堆积,下沉腐烂,发生强烈厌氧反应;第二阶段为“泛”的过程,即厌氧反应的产物进入水体和水表,形成黑臭水团。前一阶段的形成条件,并不一定导致第二阶段的水表黑臭水团的形成,其关键的触发机制是冷空气过境,致使气温迅速降低、风速短时增大、风向调转 180° 左右。若能根据天气预报结果,预测出此触发机制,则能发布湖泛预警。为此,笔者制定了太湖湖泛预警方案(图3)。

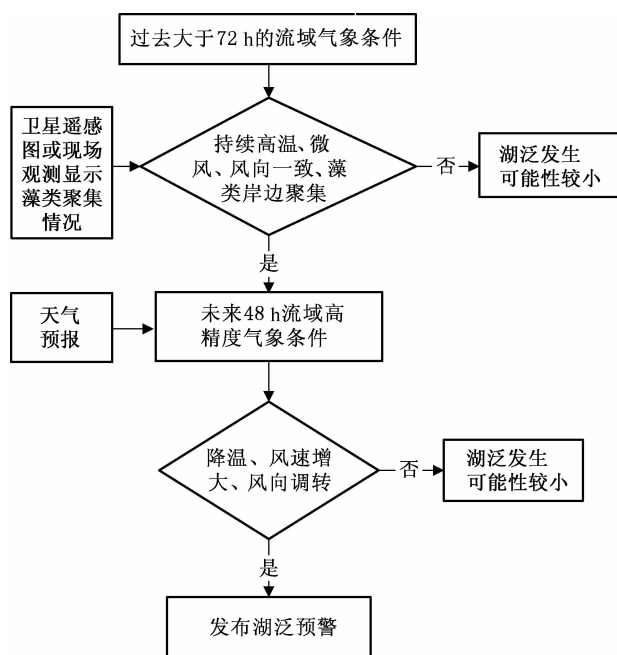


图3 太湖湖泛预警方案流程

首先,根据过去 72 h 的气象观测资料判断是否已持续出现高温(平均气温大于 20℃)、微风(平均风速小于 4 m/s)、风向基本一致(风向平均绝对偏差小于 20°)的条件。若未出现,则湖泛形成的可能性很小;否则,再结合卫星遥感图像和未来 48 h 的天气预报,判断是否已有大量蓝藻水华在湖岸或湖湾堆积,未来是否有冷空气过境,造成风速短时增大、风向调转 180°左右、气温迅速降低的现象。若出现上述情况,则发布湖泛预警;否则不发布。

4 结语

目前已观测到的湖泛现象不多,因此无法从概率统计的角度分析湖泛发生的共同气象特征,笔者针对 2007 年 5 月和 2008 年 5 月的两次湖泛现象,

利用常规气象观测资料寻找到了鲜明的相同气象特征,其研究结论如下:

湖泛形成的外因及触发机制是:3 d 以上时间维持高温、微风、风向基本一致。此 3 种气象条件同时较长时间出现,其一有利于蓝藻水华大面积爆发;其二有利于蓝藻水华在下风向岸边大量堆积;其三有利于蓝藻下沉;其四有利于维持水体层结稳定,为水底厌氧反应提供适宜的水动力环境。此外,冷空气过境使得风速短时增大、风向调转 180°左右、气温迅速降低,并且这种气象条件持续 1 d 以上。此 3 种气象条件同时出现 1 d 以上,不仅降低了水体层结稳定度,增大了垂直扰动,还使得蓝藻水华大量堆积的岸边出现沿岸涌升流,使得水底厌氧反应产生的黑臭水团被带至水表。在上述结论的基础之上,给出了基于气象条件的太湖湖泛预警方案。

[参考文献]

- [1] 谢平. 太湖蓝藻的历史发展与水华灾害——为何 2007 年在贡湖水厂出现水污染事件? 30 年能使太湖摆脱蓝藻威胁吗? [M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [2] 陆桂华, 马倩. 太湖水域湖泛及其成因研究[J]. 水科学进展, 2009, 20(3): 438-442.
- [3] 孔繁翔, 胡维平, 谷孝鸿, 等. 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.
- [4] 孔繁翔, 马荣华, 高俊峰, 等. 太湖蓝藻水华的预防、预测和预警的理论与实践[J]. 湖泊科学, 2009, 21(3): 314-328.
- [5] 吴晓东, 孔繁翔. 水华期间太湖梅梁湾微囊藻原位生长速率的测定[J]. 中国环境科学, 2008, 28(6): 552-555.
- [6] 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.
- [7] 孙小静, 秦伯强, 朱广伟, 等. 风浪对太湖水体中胶体态营养盐和浮游植物的影响[J]. 环境科学, 2007, 28(3): 506-511.
- [8] 尤本胜, 王同成, 范成新, 等. 风浪作用下太湖草型湖区水体 N、P 动态负荷模拟[J]. 中国环境科学, 2008, 28(1): 33-38.
- [9] 朱广伟, 秦伯强, 高光. 风浪扰动引起大型浅水湖泊内源磷暴发性释放的直接证据[J]. 科学通报, 2005, 50(1): 66-71.
- [10] 郑庆峰, 孙国武, 李军, 等. 影响太湖蓝藻爆发的气象条件分析[J]. 高原气象, 2008(S1): 220-225.
- [11] 黄漪平, 范成新, 濮培民, 等. 太湖水环境及其污染控制[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [12] 徐恒省, 翁建中, 李继影, 等. 太湖蓝藻水华预警监测与风速风向的关系研究[J]. 2009, 1(2): 5-7.