

## 南太湖入湖口蓝藻生物量与氮营养因子的年变化特征以及相关研究

韩志萍<sup>1</sup>, 邵朝纲<sup>1</sup>, 张易祥<sup>1</sup>, 杨志红<sup>1</sup>, 吴 湘<sup>1</sup>, 唐 铭<sup>2</sup>, 叶金云<sup>1\*</sup>

(1. 湖州师范学院生命科学学院, 浙江 湖州 313000;

2. 湖州市自来水公司水质监测站, 浙江 湖州 313000)

**摘要:** 为了解南太湖水域近年来水质状况, 以及蓝藻生物量与氨氮和总氮之间的变化规律, 实验采用统计学方法, 对南太湖水域 3 个入湖口(小梅港、新塘港、大钱港)水质中蓝藻生物量、氨氮和总氮的年变化特征进行了调查; 使用 SPSS 10.0 中的 Bivariate(pcarnon)软件对蓝藻生物量与氨氮和总氮的相关性进行了分析。结果表明: (1) 南太湖入湖口蓝藻生物量一般有两个高位期, 一个是在每年 5—6 月, 另一个在每年的 9—10 月; (2) 南太湖入湖口的总氮浓度处于富营养水平, 并有向重富营养化发展的迹象; (3) 蓝藻生物量与氨氮浓度的相关系数  $r$  介于 $-0.102\sim-0.290$ , 呈现不相关; (4) 2008—2009 年蓝藻生物量与总氮浓度的相关系数  $r$  介于 $-0.010\sim-0.210$ , 呈现不相关; 2010 年蓝藻生物量与总氮浓度的相关系数  $r$  介于 $-0.430\sim-0.474$ , 呈现低度负相关。结果说明南太湖入湖口的氮营养盐已经不容忽视, 湖泊中氨氮和总氮浓度升高, 将为蓝藻的繁殖生长提供条件, 蓝藻一旦暴发, 氨氮和总氮浓度反而迅速降低, 在南太湖水域蓝藻生物量与氨氮和总氮浓度之间存在一定的此消彼长规律。

**关键词:** 蓝藻; 氮营养因子; 生物量; 年变化特征; 相关性; 南太湖

中图分类号: X 703.5; S 913

文献标志码: A

太湖位于长江中下游地区, 是中国的第三大淡水湖, 面积约  $2\,428\text{ km}^2$ , 平均水深  $1.9\text{ m}$ , 湖泊总蓄水量为  $4.43\times 10^9\text{ m}^3$ , 是典型的浅碟形湖泊<sup>[1]</sup>。南太湖一般是指位于浙江省内沿岸部分湖面, 西北至长兴与宜兴交界处, 东南方至吴兴县与吴江县交界处, 管辖水域面积约  $300\text{ km}^2$ , 湖岸线长  $64\text{ km}$ 。

近年来太湖水体污染和富营养化日益严重, 蓝藻水华暴发频繁, 2006 年蓝藻水华约覆盖太湖总面积的  $2/5$ <sup>[2]</sup>。每年 7—11 月份南太湖沿岸开始出现大片蓝藻, 2007 年和 2008 年水体中蓝藻的最高浓度曾达到每升  $1.7\text{ 亿}$  个以上<sup>[3-4]</sup>。太湖环境的不断恶化, 尤其是富营养化程度的加重, 不仅使太湖流域存在着水质性缺水的风险, 而且会造成湖泊

的鱼类种类减少, 鱼群出现小型化、低龄化、杂鱼化<sup>[5]</sup>。“十一五”以来, 南太湖污染治理和富营养化生态修复开始启动, 但任务十分艰巨。了解南太湖富营养化因子的变化特征, 研究富营养化因子与蓝藻暴发的相关性, 对治理和修复南太湖生态环境具有重要意义。

本研究选择与太湖南岸交汇的小梅港口、新塘港口、大钱港口 3 个观测点作为研究区域, 汇集 2008、2009、2010 年 3 年的测定数据, 分析蓝藻快速繁殖时段氮营养因子的变化特征, 评价氮营养盐( $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 TN)指标对蓝藻暴发和水环境的影响, 为南太湖的富营养化治理和生态修复提供背景资料 and 理论依据。

收稿日期: 2011-08-17 修回日期: 2012-01-22

资助项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2011ZX07101-012-008); 国家自然科学基金项目(20977027, 31070451); 湖州市重大科技专项(2007ZDN01)

通讯作者: 叶金云, E-mail: yjy@hutc.zj.cn

## 1 材料与方法

### 1.1 采样点

采样点位于太湖南岸与小梅港、新塘港、大钱港 3 条内河相交汇处, 3 个采样点位置分别为  $120^{\circ} 06' 13.0''$  E,  $30^{\circ} 57' 27.0''$  N;  $120^{\circ} 07' 37.8''$  E,  $30^{\circ} 56' 23.5''$  N 和  $120^{\circ} 11' 32.1''$  E,  $30^{\circ} 55' 51.0''$  N, 具体地理位置见图 1。

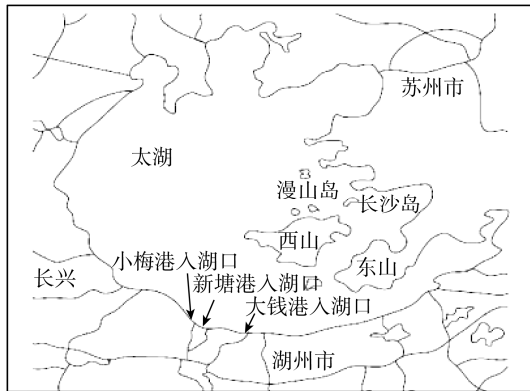


图 1 采样点位置示意图

Fig. 1 The schematic location of the sampling sites

### 1.2 样品采集与测定

定期于固定地点, 在湖面下 0.3~0.5 m 采集水样进行水质分析, 水样采集后立即带回实验室及时分析测定相关指标, 分析时间一般不超过 24 h。主要测定的指标为氨氮、总氮和蓝藻生物量(以蓝藻颗粒数表示), 测定方法参照文献[6]。氨氮采用纳氏试剂光度法, 总氮采用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法测定, 数据以 mg/L 单位表示。蓝藻生物量以浮游生物测定(B)方法, 采用血球数板对蓝藻细胞进行数量计数。

### 1.3 数据处理方法

将各采样点的连续监测数据在 Excel 软件中以时间序列组成水质分析项目数据组, 按照统计学要求采集 30 个以上数据在 Excel 中建立数据库, 并转化为文本格式的数据集。最后将其中具有相同时段和相同采样点的数据进行算术平均, 得到相应的平均值数组。所有实验结果为 3 次重复测定的平均值, 采用的数据标准误差  $S \leq 1\%$ , 每组测定数据在  $\bar{X} \pm S$  范围内。以 Origin 7.0(Originlab, US) 作图, SPSS 10.0(SPSS inc, Chicago, US) 中的

Bivariate(pcarson)进行相关性分析。其中相关系数  $|r| < 0.3$  为不相关,  $0.3 < |r| < 0.5$  为低度相关,  $0.5 < |r| < 0.8$  为中度相关,  $|r| > 0.8$  为高度相关。

## 2 结果

### 2.1 各入湖口蓝藻生物量与氨氮因子的年变化特征

2008 年除 5 月中旬蓝藻生物量较高, 达到  $3 \times 10^7$  个/L, 其他时段都比较低( $< 1 \times 10^7$  个/L), 氨氮浓度基本维持在 0.4~0.6 mg/L。2009 年 5 月 10 日—30 日及 11 月 1 日—15 日蓝藻生物量为  $1.0 \times 10^7 \sim 2.4 \times 10^7$  个/L, 其他时段都比较低( $< 1.0 \times 10^7$  个/L)。2009 年 11 月 15 日以后的氨氮浓度升高至 0.7~1.0 mg/L; 2010 年 5 月—8 月间氨氮浓度都为 0.3~0.6 mg/L, 之后的大部分时段  $< 0.3$  mg/L。2010 年蓝藻生物量较高时段是 9 月份( $1 \times 10^7 \sim 2.5 \times 10^7$  个/L), 其他时段  $< 5 \times 10^6$  个/L(图 2)。

2008—2010 年南太湖新塘港入湖口蓝藻生物量与氨氮浓度的分布与小梅港入湖口比较接近(图 3)。

2008—2010 年南太湖大钱港入湖口蓝藻生物量与氨氮浓度的分布与小梅港和新塘港入湖口有较类似的规律(图 4)。

### 2.2 南太湖各入湖口蓝藻生物量和总氮因子的年变化特征

在南太湖小梅港入湖口当蓝藻生物量比较小时, 总氮浓度都比较高, 例如 2008 年 6 月至 8 月、2009 年 6 月—10 月、2010 年 5 月—8 月, 总氮浓度  $> 1.0$  mg/L, 最高  $> 3.0$  mg/L, 蓝藻颗粒数都  $< 2.5 \times 10^6$  个/L(图 2)。

在南太湖新塘港入湖口, 自 2009 年起总氮浓度大部分  $> 1.0$  mg/L, 2009 年 6—7 月总氮浓度  $> 2.0$  mg/L, 11 月开始  $> 3.0$  mg/L, 2010 年的 5—8 月份大多数出现在 2.0 mg/L 以上(图 3)。2008 年和 2010 年蓝藻生物量有相类似的规律, 高位都出现在 9 月份( $> 1 \times 10^7$  个/L), 其他时段都比较低( $< 1 \times 10^7$  个/L)。2009 年 10 月底至 11 月上旬十几天出现蓝藻颗粒数  $> 1 \times 10^7$  个/L, 其他时段都  $< 1 \times 10^7$  个/L。

南太湖大钱港入湖口 2008—2010 年蓝藻生物量与总氮浓度的分布与新塘港入湖口有较类似的规律(图 4)。

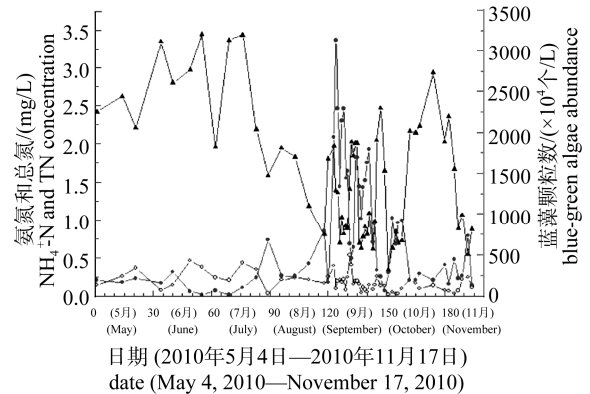
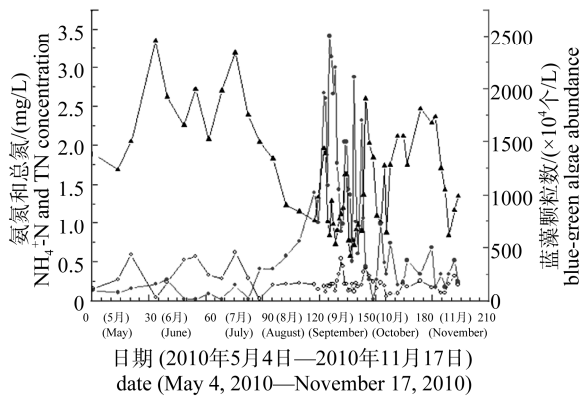
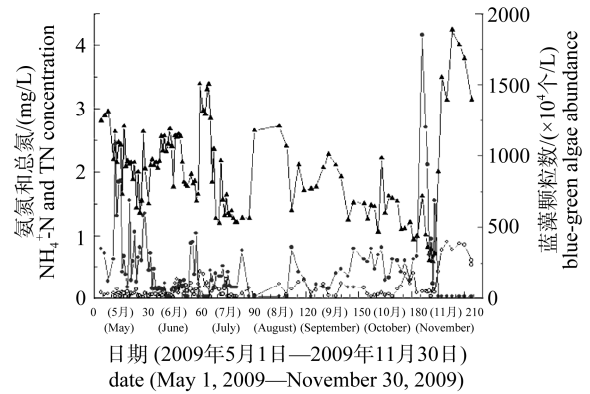
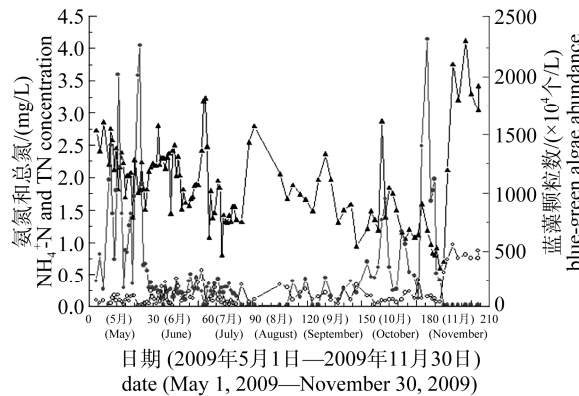
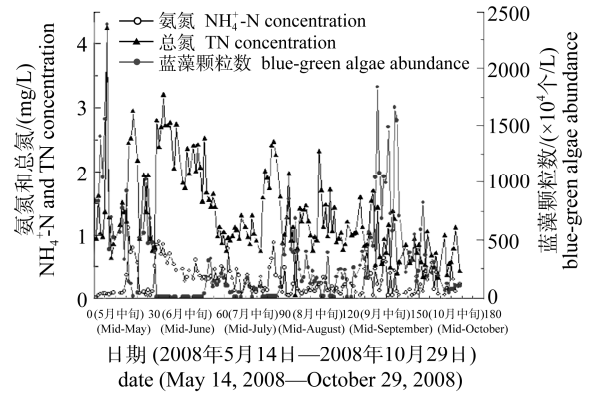
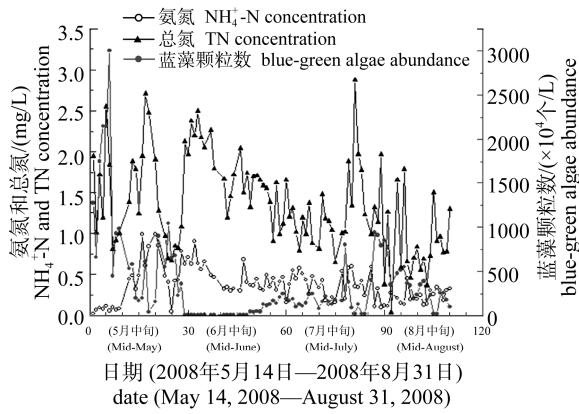


图2 南太湖小梅港入湖口 2008—2010 年蓝藻生物量与氨氮和总氮因子的年变化特征

Fig. 2 The annual variation of blue-green algae biomass, TN levels and NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N levels at Xiaomei inlet area in 2008—2010

图3 南太湖新塘港入湖口 2008—2010 年蓝藻生物量与氨氮和总氮因子的年变化特征

Fig. 3 The annual variation of blue-green algae biomass, TN levels and NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N levels at Xintang inlet area in 2008—2010

2.3 南太湖各入湖口蓝藻生物量的年变化特征

图 5 为 2007 年南太湖 3 个入湖口蓝藻生物量年变化特征, 与后 3 年比较具有一定特殊性。从 2007—2010 年 4 年南太湖蓝藻颗粒数出现的变化特征可以看出, 在南太湖区域蓝藻一般有两个高峰期, 第一个高峰期在 5 月至 6 月上旬期间(2010 年例外), 第二个高峰期在 9 月至 10 月间, 有的年份蓝藻生物量高位期持续到 11 月。与太湖西部和北部区域比较, 有所不同, 太湖西部和北部沿岸的

蓝藻暴发也有两个高峰期, 一般在 5 月和 8 月<sup>[7]</sup>, 蓝藻生物量最多是 8 月。本研究所有图都显示太湖南岸 8 月份没有出现蓝藻高峰期, 甚至 2007 年也未出现高峰的迹象(图 5)。但是每年的 9 月—11 月通常是一年中蓝藻生物量最高的季节。

3 讨论

3.1 南太湖各入湖口蓝藻生物量年变化特征分析

2007 年与 2008、2009 和 2010 年比较, 是一个

非常特殊的年份, 特征一: 蓝藻颗粒数一直持续在高位震荡, 被调查的时间段内有 50%以上达到  $1 \times 10^8$  个/L 以上; 特征二: 持续时间长, 高生物量蓝藻一直延续到了 11 月中旬; 特征三: 蓝藻出现的高峰期比较异常, 从 3 个入湖口的蓝藻变化特征图可以看出, 在 11 月 10 号左右蓝藻颗粒数达到了  $3 \times 10^8$  个/L 以上, 最高在小梅港入湖口出现在 11 月上旬, 达到  $5 \times 10^8$  个/L。

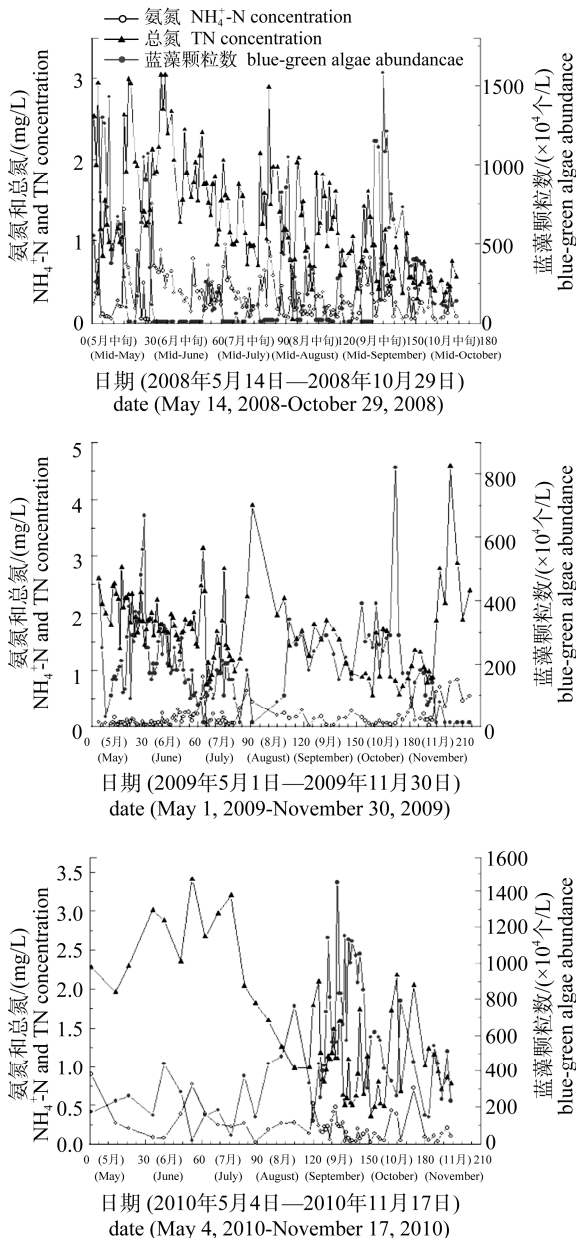


图 4 南太湖大钱港入湖口 2008—2010 年蓝藻生物量与氨氮和总氮因子的年变化特征

Fig. 4 The annual variation of blue-green algae biomass, TN levels and  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  levels at Daqian inlet area in 2008—2010

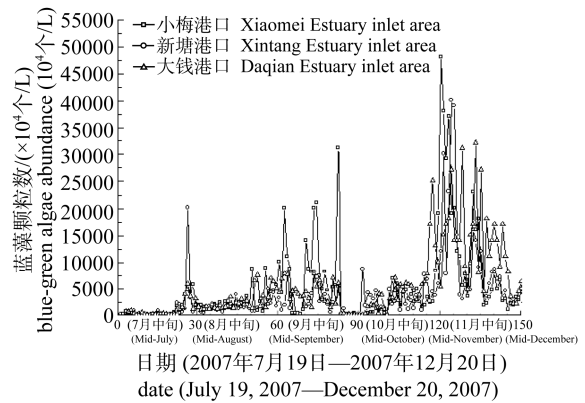


图 5 南太湖 3 个入湖口 2007 年蓝藻生物量年变化特征  
Fig. 5 The annual variations of blue-green algae biomass at Xiaomei, Xintang and Daqian inlet areas in 2007

一般情况下, 南太湖 11 月上、中旬的平均水温低于  $15^\circ\text{C}$ , 不是蓝藻生长的最佳温度<sup>[8-9]</sup>。但是从气象资料的风向分析, 蓝藻与风向存在一定关联性, 每年 9 月南太湖的主要风向为北风, 部分为东北风, 10 月有三分之一为北风, 11 月的风向大部分为东北风(图 6)。由此推测每年 9 月以后在南太湖出现的大量蓝藻不是一种暴发过程, 而是一种聚集现象<sup>[10]</sup>。由于风向缘故, 太湖中的蓝藻从 9 月开始向太湖西南方向聚集, 造成太湖南岸蓝藻大面积堆积, 导致南太湖 9—10 月份出现蓝藻生物量反而增高的现象。

另外, 从近几年气象资料分析, 南太湖地区蓝藻与梅汛期和降水量密切相关。南太湖地区一般在 6 月上旬开始梅汛期, 蓝藻生物量一般随之下降, 7 月出梅, 蓝藻生物量开始有上升趋势。例如 2007 年梅汛期(6 月 23 日至 7 月 11 日)其梅雨量约为 120 mm, 2008 年梅汛期(6 月 8 日至 7 月 4 日)其梅雨量约为 400 mm, 2008 年的梅雨量是 2007 年的 3.3 倍, 从年变化特征图可以看出, 2007 年蓝藻生物量明显高于 2008 年。分析不同年份也得出相类似的结论。

### 3.2 各入湖口氨氮( $\text{NH}_4^+\text{-N}$ )因子的年变化特征以及与蓝藻生物量的相关性分析

南太湖各入湖口水质中  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  含量基本为 0.05~1.00 mg/L, 大部分时段其含量为 0.05~0.3 mg/L; 2009 年开始, 水质中  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  含量有所下降, 大于 0.5 mg/L 含量范围的频率降至 10% 以下, 水质中  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  含量趋于好转(表 1)。

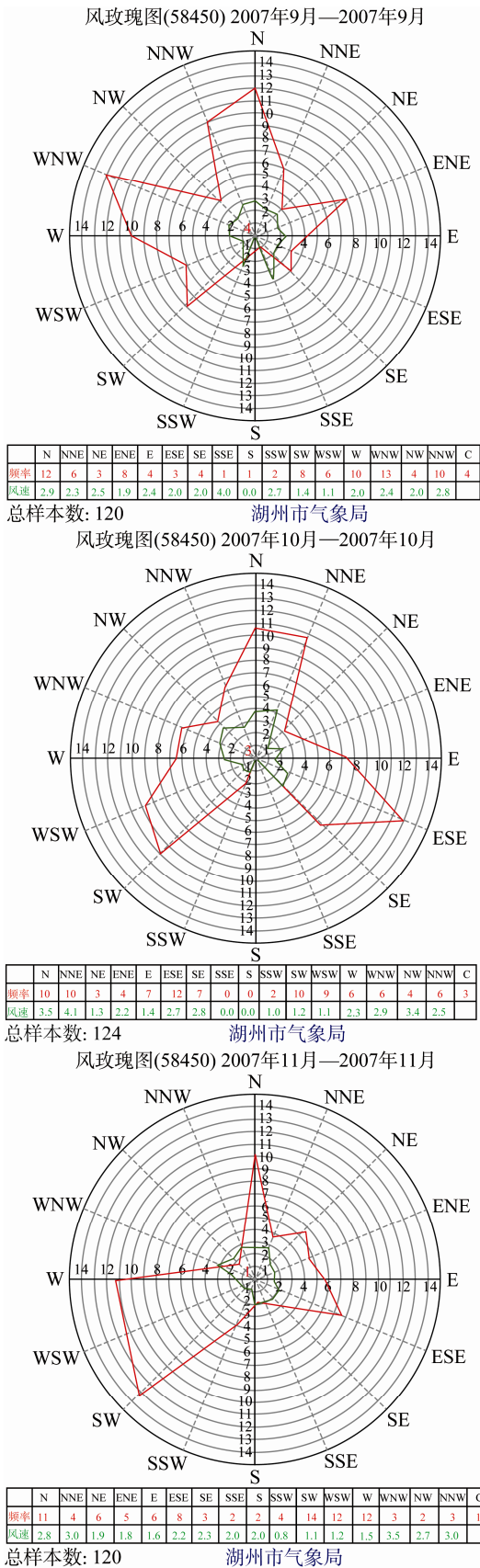


图 6 2007 年南太湖地区 9—11 月份风玫瑰图  
Fig. 6 Wind rose map in Southern Lake District in Sep. —Nov. 2007

从蓝藻生物量与  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  的相关性分析, 2008—2010 年南太湖各入湖口蓝藻生物量与  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  浓度之间呈现不相关, 其  $r$  值在  $-0.065\sim-0.290$  范围(表 2)。唐全民等<sup>[11-12]</sup>研究表明, 在低浓度氨氮条件下, 氮源能增加藻细胞比生长速率, 微囊藻毒素的含量在氨氮浓度为  $1.83\text{ mg/L}$  时达到最大, 同时表明氨氮被消耗; 当氨氮浓度过大时, 对藻类的生长、生理和产毒均有抑制作用。本研究中氨氮浓度高时, 蓝藻生物量一般较低, 氨氮浓度低时, 蓝藻生物量反而较高, 这也表明蓝藻生物量与  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  浓度之间存在此消彼长规律, 与文献<sup>[11-12]</sup>的研究结果基本一致, 所区别的是蓝藻生物量与微囊藻毒素的含量存在时间差, 微囊藻毒素往往在蓝藻死亡下沉后释放并出现毒素峰, 因为“藻体毒素峰滞后于藻体生长峰, 水体中毒素峰又滞后于藻体毒素峰”<sup>[13]</sup>。本研究中蓝藻生物量与  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  浓度的相关性系数  $r$  按统计学评判呈现不相关。随着蓝藻的繁殖生长, 氨氮应该被消耗, 但在本研究中数据的统计性分析中表现不明显, 这可能与湖泊大环境的复杂性以及量变化的幅度较小有关。

### 3.3 各入湖口总氮(TN)因子的年变化特征以及与蓝藻生物量的相关性分析

南太湖3个入湖口水域的 TN 含量出现在  $0.03\sim 4.50\text{ mg/L}$  之间, 大部分时段是在  $0.5\sim 2.0\text{ mg/L}$  内(表 3)。按照舒金华<sup>[14]</sup>和谢骏等<sup>[15]</sup>对湖泊富营养化的评判标准, 南太湖3个入湖口水域 TN 含量已经属于富营养化类型, 并在向重富营养类型( $\text{TN}>2.0\text{ mg/L}$ )转变。表3显示, 2008年所测样本数中 TN 含量  $>2.0\text{ mg/L}$  的频率小于20%, 2009和2010年全部超过20%, 2009年 TN 含量  $>2.0\text{ mg/L}$  的指标占总样本数比例最高达50%。这一信号表明南太湖区域的 TN 富营养化程度已不容忽视。

2008—2009 年南太湖各入湖口蓝藻生物量与 TN 浓度之间呈现不相关, 其  $r$  值在  $-0.010\sim 0.210$ ; 2010 年南太湖各入湖口蓝藻生物量与 TN 浓度之间呈现低度负相关, 其  $r$  值在  $-0.430\sim -0.474$ , 与 2003 年滇池水体中出现的情况相一致<sup>[16]</sup>(表 4)。龙天渝等<sup>[17]</sup>曾用模拟实验研究了藻类生长与氮营养的关系, 结果表明当  $\text{TN}<1.5\text{ mg/L}$  时, 增加 TN 浓度可显著促进藻类生长, 当 TN 浓度达到  $3.5\text{ mg/L}$  时, TN 浓度的增加对藻类生长影响甚微, 高浓度

表 1 南太湖各入湖口 2008—2010 年不同  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  浓度频率  
**Tab. 1 The range of  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  concentration in the different inlet areas at south Taihu Lake in 2008—2010** %

		年份 year									
		2008			2009			2010			
地点 site	A	$\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度范围(mg/L) range of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ concentration	[0, 0.3)	[0.3, 0.5)	[0.5, +∞)	[0, 0.3)	[0.3,0.5)	[0.5, ∞)	[0, 0.3)	[0.3,0.5)	[0.5, ∞)
		47.48	34.08	18.44	83.47	9.57	6.96	79.31	12.07	8.62	
地点 site	B	61.46	23.46	15.08	88.69	6.09	5.22	86.21	12.07	1.72	
		地点 site	C	62.01	20.11	17.88	87.07	5.17	7.76	81.03	12.07

注: 浓度频率的计算为该浓度范围内样本数÷总样本数×100; 样本数统计从每年的 5 月开始至 11 月,  $n > 50$ ; 表中地点 A, B, C 分别代表小梅港入湖口, 新塘港入湖口, 大钱港入湖口, 后同。

Notes: Calculation of the concentration frequency is number of samples within the concentration range ÷ total number of samples×100; statistics of the number of samples from annual May to November,  $n > 50$ . Sites A, B and C represent Xiaomei, Xintang and Daqian inlet area respectively, the same as below.

表 2 南太湖各入湖口 2008—2010 年蓝藻生物量与  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  的相关性系数  
**Tab. 2 The correlation coefficient ( $r$ ) of blue-green algae biomass and  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  levels in the different inlet areas at south Taihu Lake in 2008—2010**

		年份 year								
		2008			2009			2010		
地点 site	A	B	C	A	B	C	A	B	C	
样本容量 sample size	71	102	122	94	70	93	50	52	55	
$r$	-0.102	-0.172	-0.134	-0.194	-0.165	-0.206*	-0.136	-0.065	-0.290*	

注: \*表示差异显著( $P < 0.05$ )。

Notes: \* indicates difference significant( $P < 0.05$ ).

表 3 南太湖各入湖口 2008—2010 年不同 TN 浓度频率  
**Tab. 3 The range of TN concentration in the different inlet areas at south Taihu Lake in 2008—2010** %

		年份 year									
		2008			2009			2010			
地点 site	A	TN 浓度范围/(mg/L) range of TN concentration	(0.03,0.5]	(0.5,2.0]	(2.0,+∞)	(0.03,0.5]	(0.5,2.0]	(2.0,+∞)	(0.03,0.5]	(0.5,2.0]	(2.0,+∞)
		9.5	79.89	10.61	0	56.9	43.1	0	70.69	29.31	
地点 site	B	4.47	78.21	17.32	0	50.0	50.0	1.72	62.07	36.21	
		地点 site	C	18.99	68.16	12.85	0	76.72	23.28	8.62	68.97

表 4 南太湖各入湖口 2008—2010 年蓝藻生物量与 TN 的相关性系数  
**Tab. 4 The correlation coefficient ( $r$ ) of blue-green algae biomass and TN levels in the different inlet areas at south Taihu Lake in 2008-2010**

		年份 year								
		2008			2009			2010		
地点 site	A	B	C	A	B	C	A	B	C	
样本容量 sample size	71	102	122	94	70	93	50	52	55	
$r$	-0.068	0.210*	-0.198*	0.092	-0.010	0.172	-0.445**	-0.430**	-0.474**	

注: \*表示差异显著( $P < 0.05$ ), \*\*表示差异极显著( $P < 0.01$ )。

Notes: \* indicates difference significant( $P < 0.05$ ); \*\* indicates difference very significant ( $P < 0.01$ ).

氮甚至会抑制藻类生长。本实验结果是在自然态的大环境中获得, 从 2010 年统计结果分析, 当 TN 在

1.5~3.5 mg/L 范围内时, 由于蓝藻生长对氮营养的消耗, 仍存在此消彼长规律, 呈现低度负相关。大

湖泊环境中藻类生长量大面广,藻类生长导致总氮浓度降低,使 TN 浓度重新出现新的平衡。

当蓝藻颗粒数较少时( $<3 \times 10^6$  个/L),总氮浓度往往比较高( $>1.5$  mg/L),反之,当蓝藻颗粒数较高时( $>1 \times 10^7$  个/L),总氮浓度下降( $<1.5$  mg/L)。在蓝藻出现高位的前几天(一般 5~10 d),总氮浓度往往有一个较明显的下降过程,相关性系数( $r$ )呈现负相关。当太湖大环境发生变化(例刮风、下雨、降温等等),蓝藻繁殖速度减慢,甚至死亡,蓝藻尸体和底泥反而向水体释放氮素<sup>[18]</sup>,总氮浓度开始升高(图 2~图 4)。湖泊水域是一个复杂的综合体,受各种因素影响较大,与小环境模拟实验有着实质性的区别,作者于 2008—2010 年在南太湖各入湖口获得分析数据也出现氨氮或总氮浓度高时,蓝藻生物量反而较低的情况,但作者认为这不是过高氨氮或总氮对蓝藻生长的抑制作用,因为高总氮峰后都出现了高蓝藻生物量峰。一般情况下,湖泊中的氨氮或总氮浓度远不足于起抑制蓝藻生长的类似作用。但是按以上此消彼长规律分析,湖泊水质中氨氮或总氮浓度过高,将为蓝藻的繁殖生长提供条件,一旦环境条件(高温、光照、合适的氮磷比)<sup>[19-20]</sup>成熟,蓝藻细胞分裂繁殖速度加快,蓝藻的生长和大量繁殖导致  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  和 TN 消耗<sup>[21]</sup>,并在短期内出现过快降低现象<sup>[22]</sup>,所以也说明蓝藻生长对氮营养的消耗,此现象也可作为蓝藻暴发的一个预警参考。本研究中 2008—2010 年 3 年 TN 变化特征都显示, TN 在短期内过快降低后的几天都出现了蓝藻生物量急剧增加现象。

蓝藻暴发的条件和预警问题,一直是水环境研究关注的重点,由于南太湖水域对水质研究和治理相对东太湖和北太湖较晚,水质数据比较匮乏。本研究为南太湖水域的蓝藻暴发时段和条件提供数据分析,也为蓝藻暴发和水质恶化的预警提供参考。南太湖蓝藻的暴发规律,以及蓝藻暴发与水质的富营养化关系等还有待进一步的深入研讨。

衷心感谢湖州市环境保护监测中心站姚玉鑫高工和湖州市气象台黄玲琳高工等的大力协助。

#### 参考文献:

[1] 蔡启铭. 太湖环境生态研究[M]. 北京: 气象出版社, 1998: 1-5.

- [2] 王成林, 潘维玉, 韩月琪, 等. 全球气候变化对太湖蓝藻水华发展演变的影响[J]. 中国环境科学, 2010, 30(6): 822-828.
- [3] Lucie G. Doing battle with the green monster of Taihu Lake [J]. Science, 2007, 317(5842): 1166-1171.
- [4] Yang M, Yu J W, Li Z L, *et al.* Taihu Lake not to blame for Wuxi's woes[J]. Science, 2008, 319(5860): 158-163.
- [5] 刘恩生. 鱼类与水环境间相互关系的研究回顾和设想[J]. 水产学报, 2007, 31(3): 391-399.
- [6] 国家环境保护总局《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法[M]. 第四版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002: 243-280.
- [7] 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.
- [8] Latour D, Sabido O, Salencon M, *et al.* Dynamics and metabolic activity of the benthic cyanobacterium *Microcystis aeruginosa* in the Grangent reservoir (France)[J]. Journal of Plankton Research, 2004, 26: 719-726.
- [9] Roberts R D, Zohary T. Temperature effects on photosynthetic capacity, respiration, and growth rates of bloom-forming cyanobacteria[J]. New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research, 1987, 21: 391-399.
- [10] 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.
- [11] 唐全民, 陈峰, 向文洲, 等. 铵氮对铜绿微囊藻 (*Microcystis aeruginosa*) FACHB905 的生长、生化组成和毒素生产的影响[J]. 暨南大学学报: 自然科学版, 2008, 29(3): 290-294.
- [12] 张玮, 林一群, 郭定芳, 等. 不同氮、磷浓度对铜绿微囊藻生长、光合及产毒的影响[J]. 水生生物学报, 2006, 30(3): 318-322.
- [13] 卢蒙. 富营养化池塘中微囊藻毒素的生态学变化及毒素对植物生长的影响[D]. 武汉: 华中师范大学, 2004: 25-27.
- [14] 舒金华. 我国主要湖泊富营养化程度的评价[J]. 海洋与湖沼, 1993, 24(6): 616-620.
- [15] 谢骏. 灰色系统理论在我国湖泊富营养化程度评价中的应用[J]. 水利渔业, 1997, 91(4): 9-12.
- [16] 潘晓洁, 常锋毅, 沈银武, 等. 滇池水体中微囊藻毒素含量变化与环境因子的相关性研究[J]. 湖泊科学, 2006, 18(6): 572-578.
- [17] 龙天渝, 周鹏瑞, 吴磊. 环境因子对香溪河春季藻类生长影响的模拟实验[J]. 中国环境科学, 2011, 31(2): 327-333.
- [18] 孙小静, 秦伯强, 朱广伟. 蓝藻死亡分解过程中胶体态磷、氮、有机碳的释放[J]. 中国环境科学, 2007, 27(3): 341-345.
- [19] 刘信安, 湛敏, 罗彦凤, 等. 三峡水域氮磷污染对水华暴发/消涨行为的协同影响[J]. 环境科学, 2006, 27(8): 1554-1559.

- [20] 丰茂武, 吴云海, 冯仕训, 等. 不同氮磷比对藻类生长的影响[J]. 生态环境, 2008, 17(5): 1759–1763.
- [21] 王丽卿, 黄旭雄. 不同营养盐浓度下微绿球藻的生长及水体中氮磷的变化[J]. 上海水产大学学报, 2002, 11(3): 215–218.
- [22] 杨顶田, 陈伟民, 江晶, 等. 藻类爆发对太湖梅梁湾水体中 NPK 含量的影响[J]. 应用生态学报, 2003, 14(6): 969–972.

## The annual variation of blue algae biomass and nitrogen levels and their correlation at different inlet areas of south Taihu Lake

HAN Zhi-ping<sup>1</sup>, SHAO Chao-gang<sup>1</sup>, ZHANG Yi-xiang<sup>1</sup>, YANG Zhi-hong<sup>1</sup>, WU Xiang<sup>1</sup>,  
TANG Ming<sup>2</sup>, YE Jin-yun<sup>1\*</sup>

(1. College of Life Sciences, Huzhou Teachers College, Huzhou 313000, China;

2. Water Quality Monitoring Stations, Huzhou Water Supply Company, Huzhou 313000, China)

**Abstract:** Outbreaks of blue algae bloom in Taihu Lake have occurred frequently since 2006. Lots of blue algae appeared along the shore of south Taihu Lake from July to November every year, and the highest concentration of algae in water could reach more than 170 million per liter in 2007 and 2008. The worsened water environment, especially during the period of severe eutrophication, not only made the lake basin be faced with the risks of the shortage of high quality drinking water, but also caused the lake reduction of fish species and appearance of smaller, younger or trash fish. South Taihu Lake generally refers to the areas located along the part of the lake in Zhejiang Province, and the water quality data available is very limited compared with those of east or north Taihu Lake for the future concern on the issue. An annual variation of blue algae biomass,  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  and TN levels at Xiaomei, Xintang and Daqian inlet areas of south Taihu Lake was determined at regular intervals so as to find out the water quality conditions and the variation regularity between the blue algae biomass and ammonia nitrogen ( $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ) or total nitrogen (TN). The correlation between the blue algae biomass and  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  or TN was analyzed by SPSS 10.0. The results showed that: (1) the blue algae biomass at different inlet areas had two peaks, one in May-June, and the other in September-October each year; (2) water quality was in eutrophic phase due to the high TN level; (3) the correlation coefficient ( $r$ ) between biomass and  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  level was  $-0.102$  to  $-0.290$ , indicating not correlated; (4) the  $r$  value between biomass and TN level in 2008—2009 was  $-0.010$  to  $0.210$ , indicating not correlated; and with the  $r$  value of  $-0.430$  to  $-0.474$  in 2010, meaning lowly-negative correlated. Attention should be paid to the high nitrate level at different inlet areas of south Taihu Lake. The lake in high concentration of  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  and TN, might provide the conditions for growth and reproduction of blue algae, but in the case of the outbreaks of blue algae bloom,  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  and TN concentrations would decrease rapidly. In south Taihu Lake basin exists the wane and wax regularity between the blue algae biomass and  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  or TN. And the above-mentioned results could provide the necessary data for the analysis of the time and conditions of blue algae bloom in south Taihu Lake and make it possible to provide early warning information for the outbreak of blue algae bloom and water quality deterioration.

**Key words:** annual variation; nitrogen levels; biomass; blue algae; correlation; south Taihu Lake

**Corresponding author:** YE Jin-yun. E-mail: yjy@hutc.zj.cn