

梅梁湖水体浮游植物与环境因子的关系

朱文昌, 陆敏, 石浚哲

(无锡环境监测中心站, 江苏 无锡 214023)

摘要: 根据 2008 年的 4 月—11 月梅梁湖水域应急监测数据, 探讨了梅梁湖水体浮游植物与环境因子的关系。相关性分析结果表明, 蓝绿藻含量与 TP、pH 值和 DO 呈极显著正相关; 与 TN、SD 和 EC 呈极显著负相关; 与 $\text{NH}_3\text{-N}$ 呈显著正相关。多元逐步回归分析结果表明, 梅梁湖浮游植物生长受多个环境因子的共同影响, 但主要为 TP、TN、水温和风速。

关键词: 环境因素; 浮游植物; 多元逐步回归; 梅梁湖

中图分类号: X 826 文献标识码: B 文章编号: 1006-2009(2010)03-0027-04

Relationships between Phytoplankton and Environmental Factors in Waters of Meiliang Lake

ZHU Wen-chang LU Min SHI Jun-zhe

(Wuxi Environmental Monitoring Centre, Wuxi, Jiangsu 214023, China)

Abstract Relationship between phytoplankton and environmental factors were analyzed in water of Meiliang Lake based on emergency monitoring data of the Meiliang Lake measured by Wuxi environmental monitoring centre in 2008 from April to November. Relevant analysis results showed the relationships were highly significant positive between algae density and TP, pH, DO; the relationships were highly significant negative between algae density and TN, SD, conductivity; the relationship was significantly negative between algae density and $\text{NH}_3\text{-N}$. The results of multiple stepwise regressions analysis showed that several environmental factors impacted on phytoplankton growth but the major factors were TP, TN, water temperature and wind velocity in Meiliang Lake.

Key words Environmental factors; Phytoplankton; Multiple stepwise regression; Meiliang Lake

梅梁湖为沙渚、马山、小湾里等重要饮用水源地, 关系到无锡市人民的饮水安全, 是全市太湖水质监测的重点。环境因子与浮游植物有着极其密切的关系, 是影响水体生态系统的主要因素, 尤其不同的理化因子决定了不同浮游植物群落的结构。

自 2007 年“供水危机”后, 国家和地方政府都相继投入了极大的“人力和物力”进行综合治理, 在“节能减排”“控源截污”“蓝藻打捞”“调水引流”和“生态修复”等方面产生了显著成效。浮游植物与环境因子的关系研究较多^[1-4], 部分涉及梅梁湖^[5-7], 但梅梁湖的生态环境已有较大改变, 影响浮游植物生长。

为了更好地掌握和研究梅梁湖的水质状况, 确保无锡市饮用水源地水质安全, 通过对 2008 年梅梁湖蓝绿藻含量和环境因子之间的相关性分析, 并

应用多元逐步回归分析方法, 探讨藻含量和环境因子之间的关系, 以期找到对梅梁湖浮游植物影响较大的环境因子。

1 方法

1.1 采样点布置

根据 2008 年的 4 月 22 日—11 月 7 日对梅梁湖及附近水域夏季藻类应急巡视的要求, 考虑到夏季东南风和引水冲淤等对梅梁湖富营养化的影响, 监测共设 22 个采样点, 其中不但有湖主体 13 个采样点, 还包括拖山及沙渚水域等 9 个采样点。布设

收稿日期: 2009-12-18 修订日期: 2010-03-19

基金项目: 江苏省环境监测科研基金资助项目 (06-201-25)

作者简介: 朱文昌 (1969-), 男, 江苏无锡人, 工程师, 硕士研究生, 从事水质生物监测。

的采样点位置见图 1。

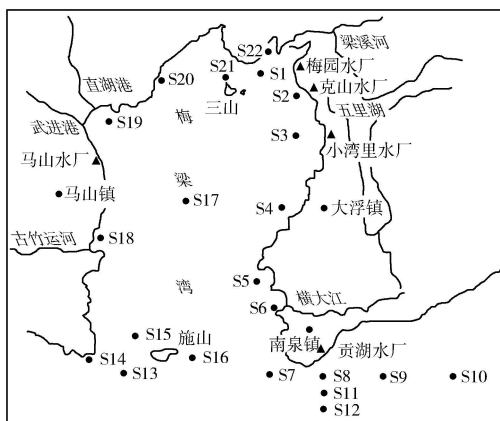


图 1 梅梁湖采样点

Fig 1 Sampling sites in Meiliang Lake

1.2 采样时间与测定方法

2008 年的 4 月—11 月的每星期一采样。除台风等恶劣天气不能行船外,梅梁湖 22 个采样点每天巡视一次。

水质指标和测定方法: I_{m} 用酸性法、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 用纳氏试剂分光光度法、TP 用钼锑抗分光光度法、TN 用过硫酸钾氧化—紫外分光光度法测定^[8]。

现场电导率、水温、DO、pH 值、浊度、蓝绿藻含量和 Chla 等 7 指标由仪器 YSI6600 水质多参数分析仪测定。风速和风向由现场风速风向仪测定;光照强度由光照计现场测定;透明度 (SD) 用塞氏盘法测定。YSI 6600 水质多参数分析仪的数据均与国标方法的数据比对,两者间无显著性差异,具有良好一致性。

1.3 数据统计与分析方法

运用 SPSS13.0 软件统计相关系数,并对梅梁湖的蓝绿藻含量和环境因子进行逐步回归^[9]。逐步回归模型的判断依据为:①方程的方差分析 F 值的显著水平 $p \leq 0.05$ 否则建立的回归方程不能使用;②各个回归系数的偏相关系数的显著水平应 $p \leq 0.05$ 。

2 结果与讨论

2.1 浮游植物与环境因子相关性分析

将 22 个采样点的蓝绿藻含量 (藻含量) 和 Chla 作为生物指标与 TN、TP、 I_{m} 、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、水温、电导率、pH 值、SD、浊度、DO、光照和风速等 12 个

环境因子指标进行相关性分析。

(1) Chla 与藻含量呈显著正相关。Chla 是浮游植物最重要的特征之一,其含量是浮游植物含量的重要指标,不但与浮游植物的数量有关,而且与浮游植物的种类组成也有很大关系,是水体理化性质动态变化的综合反映^[10]。

(2) 藻含量与 TP、pH 值和 DO 呈极显著正相关;与 TN、电导率和 SD 呈极显著负相关;与 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 呈显著负相关。

湖水中氮的形态粗略分为 5 种: N_2 、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 和有机氮,其中溶解的无机氮 (氨和硝酸盐氮) 是可被植物直接吸收的最重要形式,通常更倾向于 $\text{NH}_3 - \text{N}$ ^[10]。梅梁湖水体中溶解的无机氮大量消耗正是为浮游植物的生长繁殖提供了营养物质,同时如果水体中无机氮不能得到及时补充, TN 和 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 的质量浓度就会随之下降,所以藻含量与 TN 呈现极显著负相关关系。而藻含量和 Chla 与 TP 均呈极显著正相关,表明藻类大量繁殖很大程度上受制于磷营养盐的积累程度。营养盐是水体浮游植物生长必不可少的因素,营养盐的含量变化可以影响浮游植物的数量,而浮游植物生长状况又是营养盐含量变动的主要条件。藻含量和 Chla 作为浮游植物生物指标,其与营养盐的关系较为复杂^[11-12]。

此外,调查期间 TN 的均值为 1.94 mg/L, TP 均值为 0.09 mg/L, $\rho(\text{N})/\rho(\text{P})$ 为 22。张运林等^[13]研究表明,氮的质量浓度在 0.26 mg/L ~ 1.3 mg/L 时,藻类的生长繁殖受到限制,磷的质量浓度为 0.018 mg/L ~ 0.098 mg/L 时也将成为藻类生长的限制因子。可见,磷是梅梁湖藻类的营养盐限制因子。

DO、pH 值与藻含量呈极显著正相关,主要是与水体中藻类大量繁殖所进行的光合作用有关。在藻类大量繁殖的浅水型湖泊,水中 DO 往往会出现超饱和状态。在 DO 因光合作用而出现饱和的同时, pH 值也会随之升高,这主要是因为强烈光合作用改变了湖泊水体中碳酸盐体系,使水体中 HCO_3^- 大量减少。水体发生水华时,由于强烈的光合作用,可使 pH 值为 9~10 所以, pH 值和 DO 之间也有显著的正相关关系^[14-17]。浮游植物相关指标与环境因子的相关系数矩阵见表 1。

表 1 浮游植物相关指标与环境因子的相关系数矩阵^①

Table 1 Correlations coefficient matrix

项目	藻含量	Chl _a	I _{Mn}	NH ₃ -N	TN	TP	水温	电导率	pH	浊度	DO	SD	光照	风速
藻含量	1													
Chl _a	0.252**	1												
I _{Mn}	0.009	0.077	1											
NH ₃ -N	-0.119	0.204**	0.082	1										
TN	-0.328**	0.090	0.374*	0.346*	1									
TP	0.288**	0.225**	0.224*	0.261**	0.142*	1								
温度	0.080	0.067	0.094	0.089	-0.227**	0.278**	1							
电导率	-0.415**	0.121*	0.069	0.098	0.478**	-0.196**	0.044	1						
pH	0.450**	0.272**	0.047	-0.278**	-0.122*	0.178**	0.348**	-0.060	1					
浊度	0.030	0.014	0.020	-0.021	0.037	0.103	-0.001	-0.095	0.012	1				
DO	0.168**	0.257**	-0.051	-0.215**	0.168**	-0.237**	-0.412**	0.082	0.406**	-0.047	1			
SD	-0.323**	-0.176**	-0.039	-0.023	0.045	-0.292**	0.002	0.118	-0.191**	-0.170**	-0.060	1		
光照	-0.097	-0.022	-0.015	-0.078	0.039	-0.023	0.232**	0.132	0.274**	-0.182**	0.189**	0.028	1	
风速	0.007	-0.091	-0.182**	0.019	-0.117*	0.133*	0.014	-0.065	-0.058	0.266**	-0.227**	-0.155**	-0.249**	1

① 样本数为 340 表中* 为 $p < 0.05$ 显著相关; ** 为 $p < 0.01$ 极显著相关。

在淡水湖泊中,藻类大量繁殖,水体中无机盐作为营养物质被吸收,导致电导率下降;到了冬季藻类大量死亡,藻类死亡分解又会使大量营养盐释放于水体,电导率就会回升,所以电导率和藻含量呈极显著负相关^[18]。

2.2 多元回归分析

鉴于相关分析中藻含量与环境因子的相关系数均不是很大,而且各指标之间不存在共线性(collinearity),为了更好地分析蓝绿藻含量与环境因子之间的关系,以梅梁湖 2008 年的 5 月—10 月监测数据为基础,进行了多元逐步回归分析。

根据各环境因子的权重,精简后的藻含量与环境因子建立多元逐步回归方程。

$$Y = 5.67 + 132X_1 - 3.84X_2 + 0.26X_3 - 0.16X_4$$

式中: Y 为藻含量 ($10^7/L^{-1}$), X_1 为 TP (mg/L), X_2 为 TN (mg/L), X_3 为水温 ($^{\circ}C$), X_4 为风速 (m/s)。计算结果为 $r = 0.714$, $Df = (4, 336)$; F 值 = 42.109, $p = 0.003$ 。

综合藻含量与环境因子的逐步多元回归分析结果,发现与梅梁湖藻类生长关系密切的环境因子主要为 TN、TP、水温和风速。温度是影响浮游植物种类和数量分布的重要因素。有研究表明,太湖梅梁湖的浮游植物与水温关系密切,尤其蓝藻水华的优势种类微囊藻生物量在一定水温范围内与之有线性相关关系^[5-6]。在夏季蓝藻预警工作中,蓝绿藻是夏季梅梁湖的优势种,尤其是蓝藻门的微囊

藻属 (*Microcystis* sp.) 与水温有着更加密切的关系。

夏季梅梁湖藻类的大量生长繁殖除受到水温、光照和营养盐等环境条件影响外,风速对藻含量影响也较大。文献[19]表明,梅梁湾内部的氮、磷等营养盐含量受到由太湖主体湖区风场变化引起湖流扰动的影响;太湖主体湖区对梅梁湾内部藻类含量影响主要由藻类漂移引起,由营养盐含量改变而引起藻类含量变化非常小。可见风速风向不但直接影响梅梁湖的藻含量,同时也可通过对水体营养盐的影响而间接影响藻含量。

将 2008 年的 5 月—10 月梅梁湖监测的 TP、TN、水温和风速等数据代入多元逐步回归方程进行验证,得到藻含量的回归模型计算值见表 2。

表 2 模型测试分析^①

Table 2 Result for testing model

月份	实测值 $/10^7 L^{-1}$	计算值 $/10^7 L^{-1}$	相对偏差 %
5月	5.68	6.51	14.6
6月	5.29	6.00	13.4
7月	10.0	11.1	10.8
8月	17.2	18.9	10.1
9月	22.9	22.0	4.1
10月	17.5	15.9	9.0

① 测试时的条件: ρ (TP) 为 0.03 mg/L ~ 0.36 mg/L; ρ (TN) 为 0.63 mg/L ~ 15.3 mg/L; 水温为 17.7 $^{\circ}C$ ~ 33.5 $^{\circ}C$; 风速为 0 m/s ~ 8.7 m/s。

藻含量实测值与模型计算值的变化趋势基本一致, 模型计算的平均相对偏差为 10.3%, 考虑到水体生态复杂性对监测数据的影响, 模型计算误差是合理的。夏季在蓝绿藻成为梅梁湖优势种的情况下, 计算值与实测值误差较小, 这与 YSI 6600 水质多参数分析仪定量原理一致 (通过测定蓝绿藻体内的藻蓝蛋白实现计算水体中蓝绿藻含量)。

3 结论

(1) 相关性分析表明, 藻含量与 TP、pH 值和 DO 呈极显著正相关; 与 TN、电导率和 SD 呈极显著负相关; 与 $\text{NH}_3\text{-N}$ 呈显著负相关。

(2) 通过多元逐步回归分析, 以 TN、TP、水温和风速为自变量, 藻含量为应变量多元线性回归方程可以用作描述梅梁湖水域夏季藻类的变化。

(3) 多元逐步回归分析表明, 梅梁湖藻类生长受多个环境因子共同影响, 但主要为 TP、TN、水温和风速。相对于水体中含量已经较高的氮, 磷为梅梁湖藻类的营养盐限制因子, 这表明对磷控制是解决梅梁湖藻类暴发的一个重要途径。

[参考文献]

[1] 吕映春, 王飞儿, 陈英旭, 等. 千岛湖水体叶绿素 a 与相关环境因子的多元分析 [J]. 应用生态学报, 2003, 14(8): 1347-1350

[2] 杨广利, 韩爱民, 刘轶琨, 等. 洪泽湖富营养化与环境理化因子间的关系 [J]. 环境监测管理与技术, 2003, 15(2): 17-20

[3] 潘雪峰, 张鹰, 张东, 等. 海州湾圆筛藻与环境因子的关系研究 [J]. 环境监测管理与技术, 2007, 19(1): 17-20

[4] 王丽卿, 张军毅, 李燕, 等. 淀山湖水体叶绿素 a 与水质因子的多元分析 [J]. 上海水产大学学报, 2008, 17(1): 58-64.

[5] 陈宇炜. 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] 陈宇炜, 高锡云. 太湖环境生态研究 [R]. 北京: 气象出版社, 1998

[7] 刘元波, 高锡云. 太湖北部梅梁湾水域水质聚类分析 [J]. 湖泊科学, 1997, 9(3): 255-260

[8] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002 200-284

[9] 张力. SPSS 13.0 在生物统计中的应用 [M]. 厦门: 厦门大学出版社, 2006 104-119

[10] McARTHUR J J, WYNNE D, BERMAN T. The uptake of dissolved nitrogenous nutrients by Lake Kinneret (Israel) micropikton [J]. Limnol Oceanog, 1982(27): 673-680

[11] 刘冬燕, 宋永昌, 陈德辉. 苏州河叶绿素 a 动态特征以及与环境因子的关联分析 [J]. 上海环境科学, 2003, 22(4): 261-265

[12] 阮晓红, 石晓丹, 赵振华, 等. 苏州平原河网区浅水湖泊叶绿素 a 与环境因子的相关关系 [J]. 湖泊科学, 2008, 20(5): 556-562

[13] 张运林, 秦伯强, 陈伟民, 等. 太湖梅梁湾浮游植物叶绿素 a 和初级生产力 [J]. 应用生态学报, 2004, 15(11): 2127-2131

[14] 张澎浪, 孙承军. 地表水体中藻类的生长对 pH 值及溶解氧含量的影响 [J]. 中国环境监测, 2004, 20(4): 49-50.

[15] 王庆安, 黄时达, 孙铁玢. 多藻浅水体中 pH 值和溶解氧协同周期性变化初探 [J]. 四川环境, 2001, 20(2): 4-7.

[16] 张军毅, 黄君, 严飞, 等. 梅梁湖水体溶解氧特征及其与 pH 的关系分析 [J]. 复旦学报 (自然科学版), 2009, 48(5): 623-627

[17] 谢平. 论蓝藻水华的发生机制 - 从生物进化、生物地理化学和生态学观点 [M]. 北京: 科学出版社, 2007 76-88.

[18] 黄漪平. 太湖水环境及其污染控制 [M]. 北京: 科学出版社, 2001 32-33.

[19] 王芳, 逢勇, 薛滨. 太湖主体湖区对梅梁湾藻类影响定量化研究 [J]. 长江流域资源与环境, 2008, 17(2): 275-279.

• 简讯 •

“南京市环境监测网络体系的研究与应用”通过专家验收和鉴定

2010 年 5 月 15 日, 南京市科学技术委员会组织中国环境监测总站王瑞斌研究员、江苏省环保厅、上海市环境监测中心、江苏省环境监测中心、南京大学、南京理工大学等单位专家对南京市环境监测中心站承担的“南京市环境监测网络体系的研究与应用”的项目进行了验收与鉴定, 市环保局张丹宁局长助理、监科处刘铁处长参加了验收会。该项目在优化南京市环境监测点位的基础上, 提出了以信息化为统领, 以自动化为手段, 以质控为保障的南京市环境监测网络系统的整体解决方案, 采用先进的通信、网络、海量数据处理等信息技术, 构建了一套包括环境质量自动监测、污染源在线监控和环境监测综合业务管理的基础数据库, 完成了环境监测数据标准体系及环境监测综合信息管理平台的建设, 开发并建立覆盖全市的环境自动监测网络体系框架及其网络信息管理系统。专家们一致认为该项目在环境监测数据规范、异构数据集成、环境质量数据智能 (BI) 分析等方面实现了技术突破和创新, 认为成果的水平达到国内领先。该课题顺利通过验收鉴定。

杭维琦