

用藻类毒素为指标发现湖水中污染点的研究

俞顺章¹ 穆丽娜¹ 刘建玲² 吴亚英³ 朱文昌³

(1. 复旦大学预防医学研究所, 上海 200032; 2. 江苏环境监测中心, 南京 210029;

3. 无锡环境监测站, 无锡 214023)

摘要: 在太湖选择 21 个监测点, 于 1999 年 5—10 月每月对太湖水质进行检测。应用统计学方法对各指标与各地区关系进行分析, 最后应用逐步回归找出主要指标及主要污染地区。结果表明太湖水域中的 MC 几何平均浓度为 407 pgmL^{-1} ($20.94 - 18362.01 \text{ pgmL}^{-1}$), 微囊藻毒素的存在和增长主要与微囊藻毒素生长的环境条件有关。用相关和逐步回归分析法查明微囊藻毒素与其生长与总磷呈正相关, 与溶解氧呈负相关。其数学关系为: 对数微囊藻毒素 (pgmL^{-1}) = $6.538 + 1.759^{***}$ 对数总磷 (ugL^{-1}) - 7.640^* 对数溶解氧 (mgL^{-1}), ($R^2 = 0.464$, $p < 0.01$)。用公式中三项指标构成的多元交互图, 可以寻找湖水中主要污染点的分布。太湖主要污染点在 16、24 和 9、10 两处湖湾中。

关键词: 微囊藻毒素; 富营养化; 总磷; 溶解氧; 污染点

中图分类号: Q949.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3207(2002)06-0669-05

当前大家关心得比较多的问题是如何保护人类赖以生存的生态环境, 寻找水体中微囊藻毒素的主要高发点, 并采取必要的措施, 本文以湖水中藻类毒素与其相关的污染指标为指针来探索湖水中的主要污染点。

1 材料和方法

1.1 采样点和化学指标的选择 于 1999 年 5—10 月, 在该湖中设置 21 个(图 1)监测点(另 4 个水源点, 数据略), 每月进行一次抽样。所选择的点, 力求代表一定的水域。共检测下列 12 项指标: 微囊藻毒素(*Microcystin*, MC), 藻细胞数(Cell of Cynobacteria, NUMOF-CY), 叶绿素(Chlorophyll a, CHLA), 总磷(Total Phosphorus, TP), 总氮(Total Nitrogen TN), 高锰酸盐指数(Permanganate index, COD_{Mn}), 水温(Temperature, TEP), 酸碱度(pH), 溶解氧(Dissolve oxygen, DO), 电导率(Electrical conductivity, EC), 和氮磷比(TN/TP, NP)所用的标准方法除微囊藻毒素外按环境监测常规方法进行。

1.2 ELISA 检测微囊藻毒素 每个水样 50mL, 采集后保存在 -0℃ 冰箱内。水样测定时重复冻融后过滤, 取 50uL, 用竞争性 ELISA 方法(Enzyme linked Immunosorbent Assay)测定。ELISA 应用微囊藻毒素牛血清白蛋白(MCLR-BSA)包板。每板都作标准系列。用 Ueno 教



图 1 太湖及采样点的分布图

Fig. 1 The Lake Taihu and distribution of Sampling sites

授赠送的 MC 单克隆抗体作用和辣根过氧化酶(Horseradish peroxidase-labeled reagent)标记的羊抗鼠 IgG 显色。反应后在 450nm 波长下自动记录 OD 值，并计算微囊藻毒素浓度^[1]。

1.3 统计学处理 所有数据用 SPSS Ver. 9.0 建立数据库后，经对数转换后，用 Kolmogorov Smirnov 常态检验，全部数据呈常态分布后，进行统计分析。如用 SPSS 进行相关和回归分析以及逐步回归分析。应用 SPSS 的图形(Graph)交互分析，找出微囊藻毒素的高发点。

2 结果

2.1 各种指标的平均值和标准差

由于 5—10 月湖水主要指标的标准差大或者接近平均值，这意味着数据呈偏态分布。经过对数转换后全部

数据呈常态分布(表 1)。

表 1 5—10 月湖水中各种指标的平均值和标准差

Tab. 1 The mean and SD of Different Indicators in Taihu Lake from May to October

指标 Indicator	平均值和标准差 $\bar{X} \pm SD$	几何平均值 \bar{X}_G	最小最大值 Min Max	
			最小值 Min	最大值 Max
微囊藻毒素($\mu\text{g mL}^{-1}$)	1867.37 ± 4124.09	406.72	20.94	18362.01
藻细胞数(万个 L^{-1})	447.19 ± 371.35	340.80	91.14	1467.50
叶绿素($\mu\text{g L}^{-1}$)	26.96 ± 28.26	16.20	3.67	94.70
总磷($\mu\text{g L}^{-1}$)	85.00 ± 70.86	66.21	23.33	320.00
总氮(mg L^{-1})	1.97 ± 1.30	1.64	0.60	5.80
高锰酸盐指数(mg L^{-1})	4.78 ± 2.08	4.41	2.70	8.60
水温 (°C)	24.42 ± 1.01	24.41	22.93	27.60
酸碱度(pH)	8.39 ± 0.22	8.39	8.04	8.75
透明度	8.62 ± 0.79	8.58	6.72	10.23
溶解氧(mg L^{-1})	5.09 ± 1.84	4.80	3.00	9.66
电导率($\mu\text{s cm}^{-1}$)	30.32 ± 7.48	29.41	18.83	42.03
氮磷比(TN/TP)	29.64 ± 16.91	25.00	4.28	68.71

2.2 微囊藻毒素与各指标之间的相关关系

微囊藻毒素与12项指标中6项相关(表2)。有的指标如藻细胞数、叶绿素和透明度与藻类有关;与污染的有关如总磷、总氮和高锰酸盐指数。另外也可用其他指标替代微囊藻毒素的检验。例如藻细胞数测定,从表2细胞数的公式:当对数藻细胞数=2时(相当于 100^4 个 L^{-1} 藻细胞数),对数微囊藻毒素为1.953(相当于 $90\mu g L^{-1}$ 微囊藻毒素)。

表2 微囊藻毒素与各种指标的显著性检验

Tab. 2 The Correlation Coefficients and Regression Equations between MC and Other Indicators

指标 Indicator	相关系数 r	显著性检验 P value	回归方程式 Regression Eqution
微囊藻毒素	1.00		
总氮	0.470*	0.027	对数微囊藻毒素= 1.418* 对数总氮+ 2303.721
藻细胞数	0.498*	0.018	对数微囊藻毒素= 1.232* 对数藻细胞数- 0.511
叶绿素	0.536*	0.010	对数微囊藻毒素= 0.957** 对数叶绿素+ 1452.197
透明度	- 0.537**	0.010	对数微囊藻毒素= - 2.809** 对数透明度+ 7331.102
高锰酸盐指数	0.557*	0.007	对数微囊藻毒素= 2.516** 对数高锰酸盐指数+ 988.260
总磷	0.569*	0.006	对数微囊藻毒素= 1.495** 对数总磷- 113.426

注:双侧显著性检验: * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$. 相关系数(r)显著性检验不显著的未列入。

2.3 各种指标之间的逐步回归关系

以上6项指标与微囊藻毒素有关,为找到主要指标,用逐步回归方法。按各自变量对应变量作用的大小,由大至小逐步引入回归方程,每引入一自变量,都对方程引入的自变量进行显著性检验,当发现一个和/或几个自变量作用无显著性即剔除,直到无显著性的自变量时为止,即得逐步回归式。本文11个指标与微囊藻毒素的回归方程,逐步回归首先获得的指标为总磷对数值(表4中模型1)。 $R^2 = 0.323$,即应变量变异中的32.3%可由自变量对数总磷来解释。模型2进一步引入另一个自变量对数溶解氧, $R^2 = 0.464$,即应变量变异中有46.4%可由两个自变量对数总磷和对数溶解氧来解释。按多元逐步回归:对数微囊藻毒素= 6.538+ 1.759*** 对数总磷- 7.640* 对数溶解氧($R^2 = 0.464$, $P = 0.003$)。

表3 微囊藻毒素与各种指标之间的逐步回归关系

Tab. 3 The Stepwise Regression between MC and other Indicators

模型 Model	β	t test	显著性检验(p value)
1 (常数)		- 0.127	0.900
总磷(TP)	0.569	3.092	0.006
2 (常数)		2.120	0.047
总磷(TP)	0.669	3.850	0.001
溶解氧(DO)	- 0.389	- 2.237	0.037

2.4 湖水中主要污染点

利用三个主要指标,微囊藻毒素,总磷和溶解氧作每个点的三维图。监测的结果显

示: 1—8 点主要分布在湖中开阔处, 污染较少。9 和 10 点的污染源较多; 同时 9 点和 10 点接近湖边(湖湾)区, 污染较多。该湖主要污染点在 16 点处, 那里的微囊藻毒素和总磷都很高, 16、25、24 点的总磷污染也较严重(表 3)。

用图形分析的方法也可显示微囊藻毒素污染的地方。可见 16, 9, 15, 10, 11 点的对数微囊藻毒素较高, 16, 25, 24, 9, 10 点的对数总磷较高。其中 16, 24, 9, 10 点对数总磷和微囊藻毒素都较高。其位置在两个湖湾中, 说明这些点的水体处于高度富营养化状态(表 4)。对数溶解氧仅 9 点较低与上指标一致。

表 4 湖水中的微囊藻毒素高发点, 按三个主要指标、微囊藻毒素、总磷和溶解氧排列

Tab. 4 The Higher pollution Points of MC in Taihu Lake: According to MC, TP and DO

主要指标 Indicator	按顺序排列(溶解氧按逆序排列)(Rank of Quantity)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
微囊藻毒素(MC)	16	9	15	10	11	14	7	18	24	13
总磷(TP)	16	25	24	9	10	15	23	11	14	13
溶解氧(DO)	9	18	7	20	12	8	17	16	4	3

注: 下划字代表相似点。Friedman Test: P= 0.479; Kendall's W Test: P= 0.479。

各点微囊藻毒素与总磷指标比较一致, 但与溶解氧较差。但经统计学检验 3 个指标基本一致($P > 0.05$)。湖水中总磷波动于国家 III 类水水平($25 \mu\text{g L}^{-1}$)。

3 讨论

3.1 为什么选择微囊藻毒素高发点为主要指标? 随着工业和生活污水的大量排放, 磷、氮等营养素在水中聚集, 大大加速水中富营养化进程, 在一定条件下引起藻类在水中大量生长, 水华激增。水华如果是鱼腥藻(*Anabaena* sp.)则臭味严重; 如果是微囊藻产生微囊藻毒素(*Microcystins*)则危害人类健康。

微囊藻毒素是一类具有生物活性的单环七肽。分子量大约 1000, 可引起人畜肝细胞坏死, 肝功能受损, 或神经系统病症。由于能促进动物肝肿瘤形成, 故可能与肝癌高发有关^[2]。巴西曾发生一起用来自蓝藻污染的湖水进行透析, 在患有肝炎的 126 例中有 43 人死亡, 他们的肝和血中都发现有大量微囊藻毒素^[3]。

3.2 总磷和溶解氧与微囊藻毒素生长密切相关。 利用微囊藻毒素, 总磷和溶解氧三项测定结果可以找到湖水的主要污染点。对集中取水点和水源点的选择有重要参考意义。

3.3 预防藻类疯长, 首先应该解决生活污水和工农业废水的污染。 含有微囊藻毒素的水可以通臭氧或氯消毒^[4]。为防止其他地区微囊藻等随风漂来, 可用含气飘浮水坝或塑料布屏障来阻挡。一旦发生藻类疯长, 千万不能用硫酸铜处理。因为硫酸铜处理藻虽然能将藻杀死, 但微囊藻毒素大量产生。澳大利亚 Palm 岛用 1mg/L 硫酸铜处理水库水中的藻后, 当地 140 个儿童和 10 个成人发生乏力, 呕吐, 肝大和肝痛; 部分患者肝脏功能受损^[5]。其原因是杀藻后毒素大量释放引起的。用人工和机械去藻, 再用活性碳吸收毒素, 效果虽好, 但成本较高。

参考文献:

- [1] Harada KI, Qshikata M, Uchida H, et al. Detection and identification of microcystins in the drinking water of haimen city, China [J]. *Nat. Toxin*, 1996, 4: 277—283
- [2] Yu SZ, Chen G, Zhi XL, et al. Primary liver cancer:Natural toxins and prevention in China [J]. *J Toxicol Sci*, 1998, 23 (Suppl II): 143—147
- [3] Pouria S, Andrade AD, Barbosa J, et al . Fatal microcystin intoxication in haemodialysis unit in Caruaru [J], Brazil. *Lancet*, 1998, 352: 21—6
- [4] Miraglia M, van Egmond H, Bera C, Gibert J. Mycotoxins and Phycotoxins Developments in Chemistry, Toxicology and Food Safety [M], USA, 1998
- [5] Byth S. Palm Island mystery disease [J]. *Med J Aust*, 1980, 2: 40—42

USING CYANOTOXINS AS INDICATOR TO FIND HIGHER POLLUTION POINTS IN TAI HU LAKE, CHINA

YU Shun-zhang¹, MU Lina¹, LIU Jian-ling², WU Ya-ying³ and ZHU Wei-chang³

(1. Institute of Preventive Medicine, Fudan University, Shanghai 200032; 2. Center of Environmental Surveillance, Nanjing 210029; 3. Station of Environmental Surveillance, Wuxi 214023)

Abstract: Cyanobacteria Toxins (Cyanotoxin, *Mycrocystin*, MC) were common in the eutrophic lakes of southern China. Using cyanotoxin as an indicator to find the higher pollution points in Tai-hu Lake, China. From May to October, 1999, 21 points in Tai-hu Lake were selected and detected 12 different indicators, including MC every month. The results of test were calculated means, standard deviation and correlation relations between indicators and districts. The stepwise regression was used to determine the relationship among all indicators. Dependent upon the established mathematical formula, using MC, total phosphorus and dissolve oxygen to find the main pollution points. Using ELISA test, the results of the geometrical mean of MC was 407 pgmL^{-1} ($20.94 \text{ } 18362.02 \text{ pgmL}^{-1}$). Through the stepwise regression method, the main influenced factors for concentration of MC were total phosphorus (positive correlation) and dissolved oxygen (negative correlation). The stepwise regression formula was as following: $\log MC = 6.538 + 1.759^{***} \log(\text{total phosphorus}) - 7.640^* \log(\text{solved oxygen})$, (${}^* P < 0.05$, ${}^{***} P < 0.0001$). If conjugated with these three indicators we can find the main pollution points. Main pollution points in Tai-hu Lake were located at points 16, 24 and 9, 10, in the bays of lake.

Key words: *Mycrocystins*; Eutrophication; Pollution; Total phosphorus; Dissolve oxygen