

观山湖氮磷浓度与水质因子关系研究

张永航, 李梅, 杜莹, 苏文丽 (贵州师范大学化学与材料科学学院, 贵州贵阳 550001)

摘要 [目的]研究观山湖氮磷浓度与水质因子的关系。[方法]对观山湖水体氮磷及相关水质因子进行了含量监测, 分析观山湖氮磷浓度水质特征及水体中氮磷不同形态浓度与水质因子之间的相关性, 利用多元逐步回归方程分别建立氮磷浓度与水质因子的关系。[结果]亚硝酸盐氮($\text{NO}_2^- - \text{N}$)与总氮(TN)呈显著负相关, 硝酸盐氮($\text{NO}_3^- - \text{N}$)与叶绿素 a(Chla)、总磷(TP)及氨氮($\text{NH}_4^+ - \text{N}$)均呈显著正相关, 氨氮($\text{NH}_4^+ - \text{N}$)与叶绿素 a(Chla)及硝酸盐氮($\text{NO}_3^- - \text{N}$)也呈显著性正相关, 氨氮($\text{NH}_4^+ - \text{N}$)的模型中仅与叶绿素 a(Chla)有关。总磷(TP)浓度与叶绿素 a(Chla)、可溶性磷(DP)、硝酸盐氮($\text{NO}_3^- - \text{N}$)呈显著正相关, 可溶性磷(DP)与叶绿素 a(Chla)及硝酸盐氮($\text{NO}_3^- - \text{N}$)呈正相关。总磷(TP)和可溶性磷(DP)的模型都仅与叶绿素 a(Chla)有关。[结论]观山湖总体水质良好, 未达到富营养化。

关键词 氮磷浓度; 不同形态; 水质因子; 相关性; 观山湖

中图分类号 S181.3; X52 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2016)25-097-03

Study on Relationship between Nitrogen, Phosphorus Concentration and Water Quality Factors in Guanshan Lake

ZHANG Yong-hang, LI Mei, DU Ying et al (School of Chemistry and Materials Science, Guizhou Normal University, Guiyang, Guizhou 550001)

Abstract [Objective] The aim was to study the relationship between nitrogen, phosphorus concentration and water quality factors in Guanshan Lake. [Method] Based on the measurement results of nitrogen, phosphorus and relevant water quality factors in Guanshan Lake, the water quality features were analyzed, as well as the correlation between different forms of nitrogen and phosphorus concentrations in water and water quality factors. The relationship between nitrogen, phosphorus concentration and water quality factors was established by using the multiple stepwise regression equation. [Result] Nitrite nitrogen and total nitrogen was significantly negatively correlated. Nitrate nitrogen and chlorophyll a, total phosphorus and ammonia were significantly positively correlated. Ammonia nitrate was positively correlated with nitrate nitrogen and chlorophyll a, whose model is only related with chlorophyll a. Total phosphorus concentration and chlorophyll a, dissolved phosphorus, nitrate nitrogen was significantly positive correlation. Dissolved phosphorus was positively correlated with nitrate nitrogen and chlorophyll a, while total phosphorus and dissolved phosphorus iwa only related with chlorophyll a in its model. [Conclusion] The overall water quality of Guanshan Lake is good and has not reached the eutrophication.

Key words Nitrogen and phosphorus concentration; Different forms; Water quality factors; Correlation; Guanshan Lake

观山湖位于贵阳市观山湖区, 是贵阳市有名的湿地公园, 占地 366.67 余 hm^2 , 其中生态湿地水体面积约 40 hm^2 , 是按照“自然、生态、大众、和谐”的园林规划设计理念, 依托得天独厚的水体、山丘、林木、野生动物等资源建设而成, 是一个以湿地为特色, 集观赏游览、文化娱乐、康体健身、科普教育等综合功能于一体的原生态湿地公园。近年来, 随着观山湖区经济的不断发展及人类活动的加剧, 该湿地公园水体存在潜在的污染危险。因此, 防止水体富营养化, 加强水体环境质量监测, 保护湿地水体环境质量具有重要意义。

氮磷浓度是评价水质营养化的重要指标之一, 其与相关水质因子是解释水质富营养化成因的重要因素^[1]。水体中氮磷以各种形态存在, 通过各种作用进行转化, 而不同水质因子在不同过程起着不同作用^[2-3], 因此分析不同形态的氮磷与水质因子关系有利于深入了解氮磷在水中的转化作用和影响因素。笔者通过对观山湖水体氮磷含量及相关水质因子进行监测, 分析了各种形态的氮磷与水质因子的相关性, 旨在为解释和防治水体富营养化及更好地保护观山湖水质提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 样点布设与样品采集

根据观山湖污染源疑似点, 进

出水口处、水流交汇处共设 9 个采样点。样品的采集与方法严格参照《水和废水监测分析方法》进行。

1.2 测定项目与方法 监测项目主要有溶解氧(DO)、pH、水温(T)、总氮(TN)、硝酸盐氮($\text{NO}_3^- - \text{N}$)、亚硝酸盐氮($\text{NO}_2^- - \text{N}$)、氨氮($\text{NH}_4^+ - \text{N}$)、总磷(TP)、可溶性磷(DP)、化学需氧量(COD_{Cr})、五日生化需氧量(BOD_5)、铁(Fe)、锰(Mn)、叶绿素 a(Chla)。

DO、pH、T 分别采用 RJY-1A 型便携式溶解氧测试仪、便携式酸度计 PHB-5 及摄氏温度计(装于水样采集器上)进行现场测定; $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 采用紫外分光光度法(HJ/T346—2007)测定; $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 采用分光光度法(GB/7493—1987)测定; $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 采用纳氏试剂分光光度法(HJ 535—2009)测定; TP 采用钼酸铵分光光度法(GB 11893—1989)测定; COD_{Cr} 采用重铬酸盐法(GB 11914—1989)测定; BOD_5 采用稀释接种法(HJ 505—2009), 检出限 0.5 mg/L 测定; 叶绿素 a(Chla)采用分光光度法(SL 88—2012)测定。

1.3 数据统计 运用 SPSS 19.0 统计软件对数据进行统计和分析。

2 结果与分析

2.1 水质参数浓度特征 从图 1 可以看出, TN、TP 浓度的最大值分别为 0.980 和 0.083 mg/L, 最小值分别为 0.680 和 0.029 mg/L, 平均值分别为 0.780 和 0.050 mg/L。水体富营养化是影响水体功能正常发挥的重要原因, 在评价水体富营养化时, 我国使用标准为: 当 TN 小于 1.000 mg/L, TP 小于

基金项目 贵阳市科技计划项目(筑科合同[2012103]84号)。

作者简介 张永航(1971—), 女, 贵州贵阳人, 副教授, 硕士, 从事环境化学研究。

收稿日期 2016-07-11

0.100 mg/L 时,水体不会发生富营养化^[4]。由此可见,各采样点 TN 均小于 1.000 mg/L,TP 浓度也均小于 0.100 mg/L,

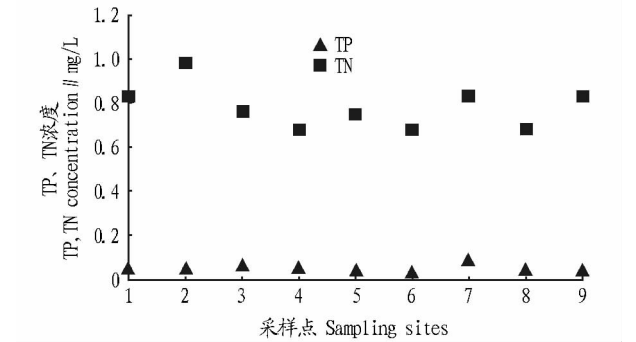


图1 TN、TP 浓度的分布情况

Fig.1 The distribution of TN,TP concentration

故该水质未达到富营养化发生条件。另外,藻类正常代谢需要的N/P值是7,当N/P值>7时,磷是可能的限制性营养

盐;当 N/P 的值 <7 时,氮是可能的限制性营养盐^[5]。观山湖各采样点的TN/TP在10.0以上,其平均值为20.3,据此判断,观山湖中磷为可能的限制性营养盐,TP 是浮游植物生长的限制因子,这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。

由表 1 可知,根据《国家地面水环境质量标准》可以判断 DO 均大于 7.500 mg/L,属于 I 类;COD_{Cr}均小于 15.000 mg/L,属于 I 类;BOD₅ 平均值在 4.000~6.000 mg/L,属于 IV 类;NH₄⁺-N 平均值为 0.320 mg/L,小于 0.500 mg/L,属于 I 类;TN 平均值小于 1.000 mg/L,属于 III 类;TP 平均值小于 0.100 mg/L,属于 IV 类;铁锰各值分别小于 0.300、0.100 mg/L,符合集中式生活饮用水地表水源地水质标准。总体来看,观山湖水水质良好,主要适用于集中式生活饮用水地表水源地二级保护区、鱼虾类越冬场、洄游通道、水产养殖区等渔业水域及游泳区。

表 1 水质因子的变化范围及平均值						
Table 1 The variation range and mean of water quality factors						
项目 Items	BOD ₅ mg/L	COD _{Cr} mg/L	DO mg/L	Chla mg/m ³	pH	T ℃
变化范围 Variation range	4.100~6.340	2.900~6.800	8.799~12.000	2.220~27.270	8.000~8.300	10.000~12.300
平均值 Mean	5.180	5.200	10.504	7.830	8.200	11.400
因子 Factors	DP mg/L	NO ₂ ⁻ -N mg/L	NO ₃ ⁻ -N mg/L	NH ₄ ⁺ -N mg/L	Fe mg/L	Mn mg/L
变化范围 Variation range	0.022~0.032	0.003~0.019	0.100~0.840	0.100~0.660	0.030~0.070	0.010~0.030
平均值 Mean	0.027	0.008	0.420	0.320	0.050	0.020

2.2 氮浓度与水质因子的相关性分析及关系模型

2.2.1 氮浓度与水质因子的相关性。在 SPSS 19.0 平台下

对氮素的不同形态与有机污染因子、理化因子、无机离子进行相关性分析,相关系数见表 2、3。

表 2 不同形态氮与水质因子的相关性系数							
Table 2 Correlation coefficient between different forms of nitrogen and water quality factors							
因子 Factors	BOD ₅	COD _{Cr}	DO	PH	T	Fe	Mn
NO ₂ ⁻ -N	-0.193	0.358	-0.056	0.197	0.061	-0.077	0.518
NO ₃ ⁻ -N	-0.087	0.009	0.305	-0.086	0.608	0.037	0.109
NH ₄ ⁺ -N	0.302	0.013	0.646	0.181	0.459	0.342	0.239
TN	-0.213	0.099	-0.116	0	0.374	0.371	-0.209

由表 2 可知,氮元素的各种形态与有机污染因子(BOD₅、COD_{Cr}、DO)、理化因子(pH、T)、无机离子(Fe、Mn)相

关性不显著,氮素在湖泊水体中转化情况比较复杂^[6],与这些因子之间的关系有待进一步研究。

表 3 不同形态氮与营养盐及叶绿素的相关性系数							
Table 3 Correlation coefficient between different forms of nitrogen and nutritive salt, chlorophyll							
因子 Factors	Chla	TP	DP	TN	NO ₂ ⁻ -N	NO ₃ ⁻ -N	NH ₄ ⁺ -N
NO ₂ ⁻ -N	0.218	0.280	0.555	-0.691*	1.000	0.597	0.285
NO ₃ ⁻ -N	0.806**	0.697*	0.613	-0.177	0.597	1.000	0.777*
NH ₄ ⁺ -N	0.803**	0.472	0.420	-0.005	0.285	0.777*	1.000
TN	0.016	0.153	-0.404	1.000	-0.691*	-0.177	-0.005

注: * 表示在 0.05 水平显著相关, ** 表示在 0.01 水平上显著相关。
Note: * stands for significant correlation at 0.05 level, ** stands for extremely significant correlation at 0.01 level.

由表 3 可知,NO₃⁻-N、NH₄⁺-N、NO₂⁻-N 和 TN 与 Chla 均呈正相关,其中 NO₃⁻-N、NH₄⁺-N 与 Chla 均在 0.01 显著水平呈正相关,相关系数分别为 0.806、0.803。在氮的形态中,NO₃⁻-N、NH₄⁺-N 在水体中较稳定,也是藻类植物的重要氮素来源,故 NO₃⁻-N、NH₄⁺-N 增加,浮游藻类随之增

加,Chla 含量也增加。
NO₃⁻-N、NH₄⁺-N、NO₂⁻-N、TN 与 TP 均呈正相关,其中 NO₃⁻-N 与 TP 在 0.05 显著水平呈正相关,相关系数为 0.697。聚磷菌能以硝酸盐作为替代氧的电子受体分解 PHA,吸收磷的过程,在缺氧的条件下磷的摄取速度与硝酸

盐的浓度有关,浓度越高速度越快^[7]。这可能是硝酸盐与磷浓度呈正相关的主要原因。

$\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 与 DP 呈正相关,但相关性不显著。 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 与 TN 呈负相关,其中 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 、TN 在 0.05 显著水平呈负相关,相关系数为 -0.691。在氮的循环过程中,经反硝化作用 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 转化成气态氮,使水体失去氮素。这就有可能使 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 、TN 呈负相关。

$\text{NO}_2^- - \text{N}$ 、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 与 TN 呈负相关,但相关系数小;与 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 呈正相关,其中 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 与 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 在 0.05 显著水平有正相关,相关系数为 0.777。这可能是由水体中硝化

作用较强引起。硝化作用($\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 转化为 $\text{NO}_3^- - \text{N}$)是指 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 在水中不稳定,除被生物吸收同化外,其余在溶解氧充足条件下,被各种消化细菌氧化为 $\text{NO}_2^- - \text{N}$,最后转化为 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 。

2.2.2 氮各种形态与水质因子的关系模型。为更进一步找出氮浓度与水质因子的关系模型,故在 SPSS 19.0 的平台下对氮的各个形态与水质因子浓度采用多元逐步回归法进行分析,所得模型见表 4。

由表 4 可知, $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、TN 的关系模型与相关性分析结果一致,而 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的关系模型则与 Chla 有关。

表 4 不同形态氮与水质因子的回归方程
Table 4 Regression equations of different forms of nitrogen and water quality factors

逐步回归方程 Stepwise regression equation	复相关系数 Multiple correlation coefficient	复相关系数的平方 The square of multiple correlation coefficient	调整相关系数的平方 Adjustment of the square of the correlation coefficient
$\rho(\text{NO}_2^- - \text{N}) = -0.039\rho(\text{TN}) + 0.039$	0.691	0.478	0.403
$\rho(\text{NO}_3^- - \text{N}) = 16.683\rho(\text{NO}_2^- - \text{N}) + 0.020\rho(\text{Chla}) + 0.143$	0.914	0.835	0.780
$\rho(\text{NH}_4^+ - \text{N}) = 0.017\rho(\text{Chla}) + 0.182$	0.803	0.645	0.594
$\rho(\text{TN}) = -12.187\rho(\text{NO}_2^- - \text{N}) + 0.880$	0.691	0.478	0.403

注: $\rho(\text{NO}_2^- - \text{N})$ 为亚硝酸盐氮的浓度, $\rho(\text{TN})$ 为总氮的浓度, $\rho(\text{NO}_3^- - \text{N})$ 为硝酸盐氮的浓度, $\rho(\text{NH}_4^+ - \text{N})$ 为氨氮的浓度, $\rho(\text{Chla})$ 为叶绿素 a 的浓度。
Note: $\rho(\text{NO}_2^- - \text{N})$. Nitrite nitrogen concentration, $\rho(\text{TN})$. Total nitrogen concentration, $\rho(\text{NO}_3^- - \text{N})$. Nitrate nitrogen concentration, $\rho(\text{NH}_4^+ - \text{N})$. Ammonia nitrogen concentration, $\rho(\text{Chla})$. Concentration of chlorophyll a.

2.3 各形态磷浓度与水质因子的相关性分析及关系模型

19.0 平台下对磷浓度与有机污染指标、pH、温度、无机离子及不同形态氮等进行相关性分析,结果见表 5、6。

2.3.1 磷浓度与水质因子的相关性及其关系模型。在 SPSS

表 5 不同形态氮与水质因子的相关性系数

Table 5 Correlation coefficient between different forms of nitrogen and water quality factors

因子 Factors	BOD ₅	COD _{Cr}	DO	pH	T	Fe	Mn
DP	-0.175	-0.031	0.254	-0.223	-0.050	0	0.493
TP	-0.228	0.253	0.097	-0.183	0.387	-0.037	0.152

由表 5 可知,氮元素的各种形态与有机污染因子(BOD₅、COD_{Cr}、DO)、理化因子(pH、T)、无机离子(Fe、Mn)相关性不显著,其中磷与铁无相关性。磷素与氮素在湖泊水体

中转化情况比较复杂^[8],与这些因子之间的关系仍有待进一步研究。

由表 6 可知,DP、TN 与 Chla 均在 0.05 显著水平呈正相

表 6 不同形态氮与营养盐及叶绿素的相关性系数

Table 6 Correlation coefficient between different forms of nitrogen and nutritive salt, chlorophyll

因子 Factors	Chla mg/m ³	TP mg/L	DP mg/L	TN mg/L	$\text{NO}_2^- - \text{N}$ mg/L	$\text{NO}_3^- - \text{N}$ mg/L	$\text{NH}_4^+ - \text{N}$ mg/L
DP	0.715 *	0.692 *	1.000	-0.404	0.555	0.613	0.420
TP	0.707 *	1.000	0.692 *	0.153	0.280	0.697 *	0.472

注: * 表示在 0.05 水平差异显著。
Note: * stands for significant difference at 0.05 level.

关,相关系数分别为 0.715、0.707。磷是水体的重要营养成分之一,故磷的增多有利于水生植物的生长,叶绿素也相应增多。这与黄文钰^[9]研究的 50 个中国主要湖泊所得的叶绿素 a 含量与总磷呈显著相关的结论相符。

TP 与 DP 也呈显著性正相关,相关系数为 0.692。TP 包括有机磷化合物和无机磷化合物,DP 在水体中是重要的磷素来源,这可能是由于 DP 浓度与 TP 浓度具有正相关。

TP 与 DP 呈正相关,与 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 呈正相关,但显著性不大;TP 与 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、 $\text{NO}_2^- - \text{N}$

呈正相关,其中只与 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 呈显著性相关,相关系数为 0.697。

2.3.2 磷各种形态与水质因子的关系模型。为了进一步确认磷与水质因子的关系模型,对其进行逐步回归,所得模型见表 7。

由表 7 可知,TP、DP 浓度与 Chla 均存在较好的线性关系,该关系模型也能说明藻类大量繁殖很大程度上受制于磷营养盐的积累程度。

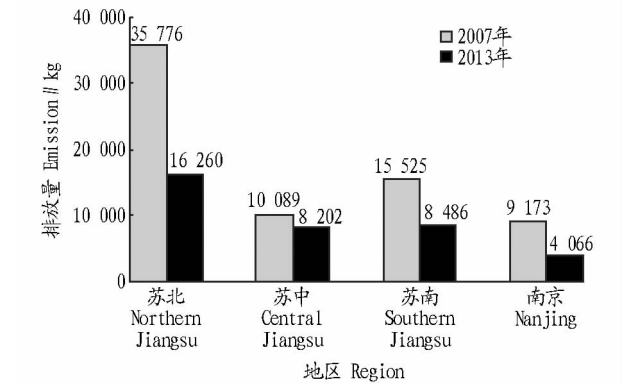


图2 江苏省各区域重点重金属污染物排放量变化情况

Fig.2 The change of emissions of heavy metal pollutants in each region of Jiangsu Province

属污染物增量的矛盾仍较突出。

(2)部分涉重金属企业的整治措施尚未完全落实到位,尤其是防护距离内的敏感目标搬迁还不到位。

(3)涉重污染场地修复投资大、周期长、环节多、技术难,相关法律法规也不健全,一些技术标准刚刚发布不久,各地工作均处于“摸着石头过河”的阶段。

(4)基础管理薄弱,与化学需氧量、二氧化硫、氨氮等常规污染物相比,重金属污染防治在总量控制、日常监管、污染物监测、修复技术研发等方面,还有大量的基础工作要做。

(5)重金属减排手段较单一。截至目前,江苏省采取的

主要减排方式为淘汰落后产能,而通过清洁生产、污染源综合治理等技术型手段达到减排效果的项目较少,后期减排空间将会进一步缩小。

造成以上问题的原因主要有以下几个方面:

(1)国家考核以2007年污染源普查数据为基数,普遍存在漏报、误报现象。同时不同区域经济结构的发展变化也将造成对重金属排放量的不同需求,加之考核基准年与考核起始年间隔较大,这些除了给考核工作带来技术上的困难外,也影响了对下考核的客观公正性。

(2)重金属污染防治工作起步晚、基础工作薄弱、历史遗留问题多,重视程度还不够,资金投入还不足、监管力度还不,重金属污染事件的发生难以有效控制。

(3)相关法律法规、标准规范缺乏,适用的防治技术、监控措施等有待开发研究,实现管理法治化、监控现代化还任重道远。

参考文献

[1] 时圣刚. 重金属对环境与人体健康影响浅议[J]. 安徽农业科学,2013, 41(14):6425-6426.

[2] 油秋平,支崇远,王璐,等. 赤水河中重金属含量及污染评价[J]. 安徽农业科学,2013,41(8):3628-3629,3640.

[3] 周淑婷,罗莹华,胡金妹,等. 韶关北江河水质重金属污染调查与评价[J]. 安徽农业科学,2015,43(3):277-279.

[4] 席景砖,李翠梅,王守英,等. 河南某市河水和污泥中重金属污染状况及评价[J]. 卫生研究,2010(6):767-770.

[5] 李敏,林玉锁. 城市环境铅污染及其对人体健康的影响[J]. 环境监测管理,2006,18(5):6-10.

[6] 焦伟,卢少勇,李光德,等. 环太湖主要进出河流重金属污染及其生态风险评价[J]. 应用与环境生物学报,2010,16(4):577-580.

(上接第99页)

表7 不同形态磷与水质因子的回归方程

Table 7 Regression equation of different forms of phosphorus and water quality factors

逐步回归方程 Stepwise regression equation	复相关系数 Multiple correlation coefficient	复相关系数的平方 The square of multiple correlation coefficient	调整相关系数的平方 Adjustment of the square of the correlation coefficient
$\rho(\text{TP})=0.010\ 0\rho(\text{Chla})+0.039$	0.707	0.500	0.429
$\rho(\text{DP})=0.000\ 3\rho(\text{Chla})+0.024$	0.715	0.512	0.442

注: $\rho(\text{TP})$ 表示总磷的浓度, $\rho(\text{DP})$ 表示溶解性磷的浓度, $\rho(\text{Chla})$ 表示叶绿素的浓度。
Note: $\rho(\text{TP})$. Total phosphorus concentration, $\rho(\text{DP})$. Dissolved phosphorus concentration, $\rho(\text{Chla})$. Concentration of chlorophyll.

3 结论

(1)从水体的水质特征分析可知,观山湖水体未达到富营养化条件。根据TN/TP均值可知,TP可能是观山湖浮游植物生长潜在的限制性因子。在用水质标准比较后得出,观山湖水质总体良好,污染程度较小。因此,对观山湖主要采取保护措施,控制氮磷的引入,特别是磷的引入。

(2)观山湖氮的不同形态与各水质因子的相关性不同, $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 与TP呈显著正相关,TN仅与 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 呈显著负相关。 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 与Chla、TP、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 均呈显著正相关, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 与Chla、 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 也呈显著性正相关, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的关系模型中仅与Chla有关。

(3)观山湖TP、DP与各水质因子相关性也不相同,TP浓度与Chla、DP、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 呈显著正相关,DP与Chla、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 呈正相关。回归分析建立TP、DP的关系模型都仅与Chla有关。

参考文献

[1] 陈军,权文婷,孙记红. 太湖氮磷浓度与水质因子的关系[J]. 中国环境监测,2011,27(3):79-83.

[2] 廖荣明,洪天求,李如忠. 巢湖桐杨河水体氮磷营养物变化特征及成因分析[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版),2010,33(10):1553-1557.

[3] 曹英兰,林建清,许美云. 厦门龙舟三池水体氮磷的污染状况及来源分析[J]. 集美大学学报(自然科学版),2011,12(6):103-106.

[4] 罗固源,康康,朱亮. 水体中TN/TP与藻类产生周期及产生量的关系[J]. 重庆大学学报(自然科学版),2007,30(1):142-146.

[5] 赵超,于宁楼,戴伟,等. 银湖夏季叶绿素a与水质因子的相关分析及富营养化评价[J]. 安徽农业科学,2010,38(32):18252-18254.

[6] 孙志高,刘景双,于君宝,等. N示踪技术在湿地氮素生物地球化学过程研究中的应用进展[J]. 地理科学,2005,25(6):762-768.

[7] 邹华,阮文权,陈坚. 硝酸盐作为生物除磷电子受体的研究[J]. 环境科学研究,2002,15(3):38-41.

[8] PANT H K,REDDY K R,LEM ON E. Phosphorus retention capacity of root bed media of subsurface flow constructed wetlands[J]. Ecological engineering,2001,17(4):345-355.

[9] 黄文钰. 中国主要湖泊叶绿素与总磷关系[J]. 污染防治技术,1997,10(1):11-12.