

苏州太湖水体氮、磷含量及形态组成分析

杨文晶, 谈剑宏, 姜 宇

(江苏省水文水资源勘测局苏州分局, 江苏 苏州 215011)

摘要: 研究基于 2016 年 10 ~ 12 月对苏州太湖水域中氮、磷营养盐浓度的水质监测, 分析了太湖水域各种形态氮、磷营养盐的含量、形态组成和变化分布特点。苏州太湖水域中总氮以溶解态氮为主, 平均占比为 77.7%, 溶解态无机氮中以硝酸盐氮为主, 全区水体中总磷以溶解态磷为主, 占比为 54.6%, 溶解态磷中以溶解态无机磷为主。不同区域各种形态分配比例不一, 并且由于环境条件复杂多变, 各种形态的浓度变化范围较大。分析成果可为太湖水环境治理和恢复提供可靠的背景资料和技术支撑。

关键词: 氮; 磷; 形态组成; 太湖

中图分类号: X832

文献标识码: B

文章编号: 1007-7839 (2018) 05-0040-04

Analysis of nitrogen and phosphorus content and form composition in Taihu Lake, Suzhou

YANG Wenjing, TAN Jianhong, JIANG Yu

(Suzhou Hydrology and Water Resources Investigation Bureau of Jiangsu Province, Suzhou 215129, Jiangsu)

Abstract: Based on the water quality monitoring of nitrogen and phosphorus concentrations in Taihu waters of Suzhou from October to December 2016, the contents, form composition and distribution characteristics of various forms of nitrogen and phosphorus nutrients in Taihu waters were analyzed. The total nitrogen in the Taihu waters of Suzhou was mainly dissolved nitrogen, with an average ratio of 77.7%. And the main dissolved inorganic nitrogen was nitrate nitrogen. The total phosphorus in the whole area was mainly dissolved in dissolved phosphorus, with a proportion of 54.6%, and the dissolved phosphorus was mainly composed of dissolved inorganic phosphorus. The proportion of different forms of distribution varies in different regions, and because of the complex and changeable environmental conditions, the concentration of various forms varies greatly. The analysis results could provide reliable background information and technical support for water environment governance and restoration in Taihu Lake.

Key words: nitrogen; phosphorus; form composition; Taihu Lake

1 概述

太湖位于长江中下游地区, 是我国第三大淡水湖^[1]。近年来由于经济及人口的快速增长和城市化进程的加快, 太湖的水质及富营养化问题愈

发严重, 对区域社会和经济的可持续发展产生了不利影响^[2]。太湖水环境治理已成为该地区的重点问题^[3]。

氮、磷营养元素是湖泊生态系统中极其重要的生态因子, 也是引发江河湖泊等永久性湿地发

收稿日期: 2018-04-02

作者简介: 杨文晶 (1990-), 女, 硕士, 研究方向为水资源与水环境。

生富营养化的重要因子之一, 不同形态氮、磷元素的空间分布格局显著影响着湖泊湿地的诸多生态过程^[4]。因此, 了解太湖水体中氮、磷等生源要素的含量、形态组成和分布规律, 是研究氮、磷营养元素行为微观过程的重要基础和前提, 对于太湖水环境治理有重要的意义。

2 样品采集与检测

2.1 样品采集

对太湖苏州水域进行实地调查, 在湖心区、胥湖和东太湖 3 个湖区各选了 1 个代表站, 分别是平台山、胥湖中和东太湖(见图 1), 开展水质采样和监测工作。采样时间为 2016 年 10 ~ 12 月, 每月利用快艇等交通工具到湖中选定点位进行采样, 共计采样 31 次, 平均每月采样 10 次。



图 1 太湖苏州水域代表站

2.2 监测指标和主要仪器

使用有机玻璃采样器采集水样, 一部分经 0.45 μm 微孔滤膜过滤, 经过滤的水样用于检测正磷酸盐、溶解态总氮和溶解态总磷; 另一部分未经过滤的原水用于检测硝酸盐氮、亚硝酸盐氮、氨氮、总氮和总磷。

硝酸盐氮和亚硝酸盐氮分析参照《水中无机

阴离子的测定离子色谱法》(SL 86-1994) 的方法测定, 氨氮的分析参照《水质氨氮的测定纳氏试剂分光光度法》(HJ 535-2009) 的方法测定, 总溶解态氮和总氮分析参照《水质总氮的测定碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法》(HJ 636-2012), 总磷、正磷酸盐和溶解态总磷分析参照《水质总磷的测定 钼酸铵分光光度法》(GB/T 11893-1989)。

测定的仪器分别为 DR5000 分光光度计、ICS-2000 离子色谱仪、普析 TU-1900 分光光度计, 仪器设备均通过了苏州市计量检测中心的检定。

由于氮和磷分别以可溶无机态、可溶有机态和悬浮颗粒态赋存于水体中, 其中可溶无机磷主要形态是活性磷酸盐, 可溶无机氮则以硝酸盐、亚硝酸盐和铵盐存在^[5]。可用差减法计算悬浮颗粒氮(PN)、悬浮颗粒磷(PP)、可溶有机氮(DON)、可溶有机磷(DOP)样品的浓度。

3 结果与分析

3.1 氮营养盐

表 1 列出了全区氮元素各种形态的浓度范围和平均浓度, 3 种溶解态无机氮(NO_3^- -N、 NO_2^- -N、 NH_3 -N) 浓度之和即为溶解态无机氮(DIN) 的浓度。其中, 总氮的浓度范围在 0.63 ~ 1.81 mg/L, 平均值为 0.93 mg/L, 参照国家《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002) (下同) 评价为Ⅲ类水。氨氮的浓度范围在 0.04 ~ 0.08 mg/L, 平均值为 0.05 mg/L, 保持在 I 类水, NO_3^- -N 的浓度范围在 0.28 ~ 0.55 mg/L, 平均值为 0.40 mg/L, 而 NO_2^- -N 均未检出, 可见水体中 3 种溶解态无机氮中以 NO_3^- -N 为主。由图 2 可见, 2016 年 10 ~ 12 月湖心区和东太湖的各形态氮的含量接近, 胥湖各种形态氮的含量明显低于前两者。根据同一湖区不同形态氮浓度的柱状高低比例, 发现对于 3 个湖区而言, TDN/TN 以及 NO_3^- -N/DIN 均超过一半, 说明虽然不同湖区之间各种形态氮元素的含量有所不同, 但湖区中总氮以溶解态氮为主, 根据计算平均比例为 77.7%, 溶解态无

表 1 太湖苏州水域各形态氮的浓度水平

	单位 :mg/L					
	TN	TDN	NH ₃ -N	NO ₃ ⁻ -N	NO ₂ ⁻ -N	DIN
最大值	1.81	1.07	0.08	0.55	<0.003	0.60
最小值	0.63	0.50	0.04	0.28	<0.003	0.32
平均值	0.93	0.71	0.05	0.40	<0.003	0.45

机氮中以硝酸盐氮为主,平均占 87.6%。

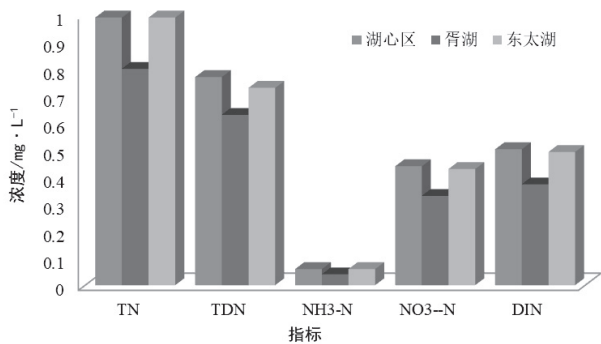


图 2 2016 年 10 ~ 12 月各湖区不同形态氮的浓度示意图

不同区域各种形态分配比例不一。湖心区、胥湖、东太湖(三者顺序下同)TDN/TN 的值分别为 79.6%、78.9%、76.3%,湖心区总氮中溶解态氮的占比最大,东太湖最小,颗粒态氮的含量可能与径流汇入和浮游生物及其碎屑有关^[6];3 个区的 DIN/TDN 值分别为 66.3%、62.3%、69.7%,胥湖最小,东太湖最大;3 个区的 NO₃-N/DIN 分别为 86.5%、89.0%、87.0%,湖心区最小,胥湖最大;3 个区的 NH₃-N/DIN 分别为 12.8%、10.1%、12.4%,胥湖最小,湖心区最大。

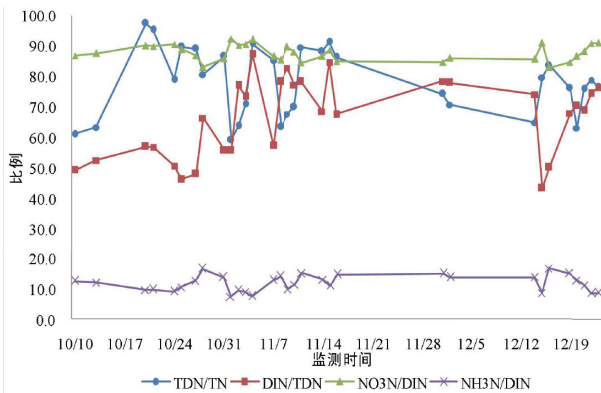


图 3 不同形态氮的比例变化示意图

由于环境条件复杂多变,各种形态的浓度变化范围较大。如图 3 中所示,NH₃-N/DIN 的变化幅度较小,维持在 11%上下浮动;TDN/TN、DIN/

TDN 在 10 月中旬到 11 月中旬的 1 个月内,变化幅度大,上下波动频繁,可能与这个阶段植物生长逐渐停止,并且随着冬季的到来,植物会慢慢腐败沉积于底泥当中有关。NO₃-N 是氮的稳定存在形式,且有不被悬浮颗粒物吸附或包裹的保守行为^[7],因此 NO₃-N/DIN 的变化幅度较小,在 87% 上下略微浮动。

3.2 磷营养盐

活性磷酸盐(PO₄³⁻)又可以看作水样中溶解态无机磷酸盐的主要组成成分,同时过滤后的水样测定的总磷含量可以认为是总溶解态磷酸盐(TDP)的含量,而水样中的总溶解态有机磷(DOP)则可以从 TDP 与 PO₄³⁻之差得到^[8]。未过滤的水样测定的 TP 浓度减去 TDP 后可得到总颗粒态磷酸盐(TPP)浓度。表 2 是 2016 年 10 ~ 12 月全区各形态磷的含量。

其中,总磷的浓度范围在 0.035 ~ 0.116 mg/L,平均值为 0.068 mg/L,参照国家《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002)(下同)评价为Ⅳ类水。TDP 的浓度范围在 0.017 ~ 0.058 mg/L,平均值为 0.036mg/L; TPP 的浓度范围在 0.004 ~ 0.066 mg/L,平均值为 0.032mg/L; PO₄³⁻ 的浓度范围在 0.013 ~ 0.024mg/L,平均值为 0.024mg/L; DOP 的浓度范围在 0.003 ~ 0.026mg/L,平均值为 0.011mg/L。如图 4 所示,从湖泊水体的空间分布上来看,氮、磷浓度分布规律基本一致,3 个湖区中,湖心区和东太湖的磷元素含量接近,胥湖各种形态磷的含量明显低于前两者。

湖心区、胥湖、东太湖(三者顺序下同)TDP/TP 的值分别为 53.3%、64.1%、52.3%,东太湖总磷中溶解态磷的占比最小,与氮元素的规律相同,胥湖最大;3 个湖区中,PO₄³⁻/TDP 的值分别为 65.7%、75.5%、67.1%,湖心区最小,胥湖最大。可见,胥湖虽然各形态磷的含量均最低,但其溶解态磷和无机磷酸盐的比例却最高。结合各分区的占比数据,可知全区水体中总磷以溶解态磷为主,占比

表 2 太湖苏州水域各形态磷的浓度水平

	单位 :mg/L				
	TP	TDP	TPP	PO ₄ ³⁻	DOP
最大值	0.116	0.058	0.066	0.040	0.026
最小值	0.035	0.017	0.004	0.013	0.003
平均值	0.068	0.036	0.032	0.024	0.011

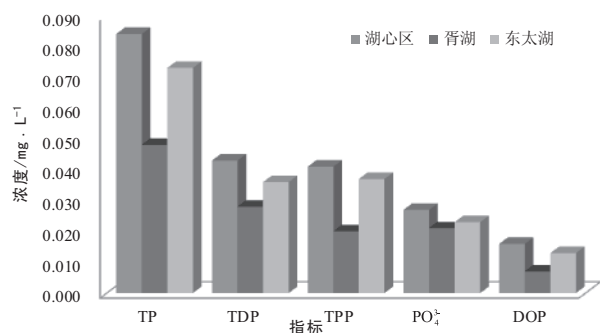


图4 2016年10~12月各湖区不同形态磷的浓度示意图

为54.6%，略大于颗粒态磷，同时小于TDN/TN；溶解态磷中以溶解态无机磷为主，占67.2%。

由图5可见，TDP/TP、 PO_4^{3-} /TDP也是在10月中旬到11月中旬的这个阶段，呈现出变化幅度大、波动频繁的特点，与氮元素的变化规律一致。11月中旬之后，比例的变化幅度降低，最终TDP/TP经历3个月的往复升降后和监测起始点的值相比相差不大，而 PO_4^{3-} /TDP在反复变化的过程中实现了一定程度的上涨。

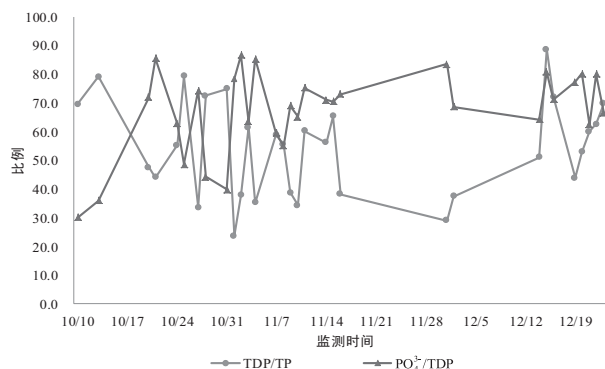


图5 不同形态磷的比例变化示意图

4 结论

(1) 2016年10~12月，苏州太湖水域总氮评价为Ⅲ类水，氨氮保持在Ⅰ类水，亚硝酸盐氮均未检出，总磷评价为Ⅳ类水。从湖泊水体的空间分布上来看，湖心区、胥湖、东太湖3个湖区中，胥湖各种形态的氮、磷含量均最小，湖心区和东太湖的各项浓度值接近。

(2) 苏州太湖水域中总氮以溶解态氮为主，根据计算平均比例为77.7%，溶解态无机氮中以硝酸盐氮为主，平均占87.6%。全区水体中总磷以溶解态磷为主，占比为54.6%，略大于颗粒态磷，比总氮中溶解态氮的占比低了23.1%；溶解态磷中以溶解态无机磷为主，占67.2%。

(3) 不同区域各种形态分配比例不一。湖心区总氮中溶解态氮的占比最大，同时氨氮占溶解态无机氮的占比也最大。胥湖溶解态氮中溶解态无机氮的占比最小，同时氨氮占溶解态无机氮的占比也最小，但其硝酸盐氮占溶解态无机氮的占比最大；该区水体中总磷中溶解态磷的占比和溶解态磷中无机磷酸盐的比例均为3区最高。东太湖总氮中溶解态氮的占比以及总磷中溶解态磷的占比均为3个区中最小，说明其水体中颗粒态氮、磷的比例相对更高^[9]。

(4) 由于环境条件复杂多变，各种形态的浓度变化范围较大。全区 NH_3-N/DIN 和 NO_3-N/DIN 的变化幅度小，分别在11%和87%上下浮动。 TDN/TN 、 DIN/TDN 、 TDP/TP 、 PO_4^{3-}/TDP 都表现为在10月中旬到11月中旬的1个月内，变化幅度大，上下波动频繁，这可能与这个阶段植物生长逐渐停止，并且随着冬季的到来，植物会慢慢腐败沉积于底泥导致营养元素发生转化等自然因素有关^[10]。

参考文献:

- [1] 毛伟新,徐枫,等.太湖水质及富营养化变化趋势分析[J].水资源保护,2009,29(1):48-51.
- [2] 金相灿,刘鸿亮,等.中国湖泊富营养化[M].北京:中国环境科学出版社,1990.
- [3] 胡雅杰,马静,等.基于多种方法的太湖综合水质评价比较[J].水利水运工程学报,2015(5):67-74.
- [4] 李卫平,李畅游,等.内蒙古乌梁素海氮、磷营养元素分布特征及地球化学环境分析[J].资源调查与环境,2008,29(2):131-138.
- [5] 孟伟,秦延文,等.长江口水体中氮、磷含量及其化学耗氧量的分析[J].环境科学,2004,25(6):65-68.
- [6] 林以安,苏纪兰,等.珠江口夏季水体中的氮和磷[J].海洋学报,2004,26(5):63-73.
- [7] 樊安德.长江河口及其临近海区的总化学耗氧有机质与营养盐[J].东海海洋,1995,13(3-4):15.
- [8] 李军,刘丛强,等.太湖水体溶解营养盐(N、P、Si)的冬、夏二季变化特征及其与富营养化的关系[J].地球与环境,2005,33(1):63-67.
- [9] 范成新,张路,等.风浪作用下太湖悬浮态颗粒物中磷的动态释放估算[J].中国科学(D辑),2003,33(8):760-768.
- [10] 秦伯强,胡维平,等.太湖沉积物悬浮的动力机制及内源释放的概念性模式[J].科学通报,2003,48(17):1822-1831.