

太湖总磷升高的原因分析

李霞¹, 张建华^{2*}, 殷鹏³, 陆隽⁴, 华萍³, 刘茗⁵

(1. 江苏省水利科学研究院, 江苏南京 210017; 2. 江苏省水利厅, 江苏南京 210029;

3. 江苏省水资源服务中心, 江苏南京 210029; 4. 江苏省水文水资源勘测局, 江苏南京 210029;

5. 江苏省太湖地区水利工程管理处, 江苏苏州 215128)

摘要:根据太湖水量、水质、底泥和蓝藻监测资料,从外源总磷(TP)输入和内源磷循环2个角度,系统分析太湖水量、水质、底泥、蓝藻等要素与湖体TP质量浓度的关系,揭示了影响太湖TP升高的主要因素,为新一轮太湖水环境综合治理提供技术支持。

关键词:总磷; 底泥; 蓝藻; 太湖

中图分类号:TV214

文献标识码:A

文章编号:1007-7839(2023)03-0022-0003

Analysis on the causes of total phosphorus increase in Taihu Lake

LI Xia¹, ZHANG Jianhua^{2*}, YIN Peng³, LU Jun⁴, HUA Ping³, LIU Ming⁵

(1. Jiangsu Hydraulic Research Institute, Nanjing 210017, China;

2. Water Resources Department of Jiangsu Province, Nanjing 210029, China;

3. Water Resources Service Center of Jiangsu Province, Nanjing 210029, China;

4. Jiangsu Province Hydrology and Water Resources Investigation Bureau, Nanjing 210029, China;

5. Water Conservancy Project Management Office of Taihu Lake in Jiangsu Province, Suzhou 215128, China)

Abstract: Based on the monitoring data of water quantity, water quality, sediment and cyanobacteria in Taihu Lake, this paper systematically analyzes the relationship between the water quantity, water quality, sediment, cyanobacteria and the total phosphorus concentration in Taihu Lake from 2 perspectives of exogenous total phosphorus (TP) input and endogenous phosphorus cycle, and reveals the main factors affecting the increase of TP in Taihu Lake, which provided technical support for a new round of comprehensive management of Taihu Lake water environment.

Key words: total phosphorus; sediment; cyanobacteria; Taihu Lake

随着太湖流域水环境综合治理工作的深入推进,太湖水质状况总体改善明显,但2013年以来总磷浓度却显著升高^[1-2]。太湖TP的持续升高,相关专家也做了许多研究,其原因一直众说纷

纭,没有定论。本文根据长序列的太湖水量、水质、底泥和蓝藻监测资料,对太湖TP升高原因进行专题分析,旨在为科学开展太湖TP治理提供技术支持。

收稿日期:2023-01-04

基金项目:江苏省水利科技项目(2021030,2021031)

作者简介:李霞(1987—),女,工程师,硕士,主要从事湖泊空间管护和太湖治理工作。E-mail:544436827@qq.com

通信作者:张建华(1968—),男,正高级工程师,博士,主要从事水环境和水生态治理保护研究。E-mail:823352242@qq.com

1 太湖总磷现状及变化趋势

水体中TP是水样经消解后各种形态(溶解态的、颗粒态的以及有机的、无机的)磷的总和,包括元素磷、正磷酸盐、缩合磷酸盐、焦磷酸盐、偏磷酸盐和有机碎屑相结合的磷酸盐等形式存在的各种磷^[3]。磷的主要来源为生活污水、农业面源污染、底泥释放、有机磷农药及洗涤剂所用的磷酸盐增洁剂等。

根据水利部太湖流域管理局在太湖33个监测点的数据,2021年湖体TP质量浓度平均为0.073 mg/L,比2007年下降18.0%。各湖区TP质量浓度差异明显,呈现出明显的西部入湖湖区TP高、东部出湖湖区TP低的特点,其中TP最低的东部沿岸区,2021年平均为0.045 mg/L;最高的西部沿岸区,为0.195 mg/L(图1),2个湖区TP质量浓度相差4.3倍。

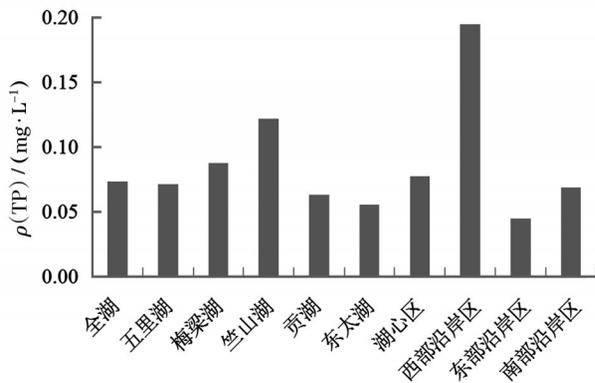


图1 2021年太湖全湖及各个湖区TP质量浓度

分析2007年以来TP质量浓度变化趋势,可以发现,太湖TP质量浓度呈波浪式变化,2007年为高点,随后逐步下降,至2011年达最低点,平均质量浓度低至0.066 mg/L,其后2012年至2019年一路上扬,至2016年达到0.089 mg/L,与2007年持平,2017年和2018年又有所下降,2019年质量浓度达到0.088 mg/L,随后2020年、2021年下降为0.073 mg/L(图2)。

2 外源总磷输入对湖体总磷的影响

2.1 入湖总磷负荷对湖体总磷的影响

外源输入是湖体TP的主要来源,根据太湖流域管理局环湖入湖污染物通量监测数据,2007年以来,每年通过入湖河流输入的TP负荷2 000 t左右,其中高点在2010年(2 700 t)和2011年(2 400 t),主

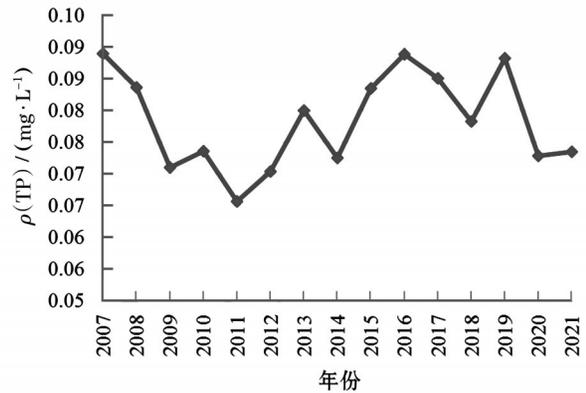


图2 2007年以来太湖TP质量浓度变化趋势

要是受当时入湖河道TP质量浓度高(大约是目前的2~3倍)的影响,其后一直维持在2 000 t左右,至2016年,受上游大洪水影响,当年入湖TP达2 500 t左右。

从图3可以看出,入湖TP负荷与湖体TP质量浓度相关性并不好,特别是2013年以前,如2010年、2011年入湖TP负荷量大,但湖体TP质量浓度并没有升高,但2013年后,入湖TP负荷与湖体TP质量浓度呈现较好的相关性,入湖负荷量大,湖体TP质量浓度也同步上升。

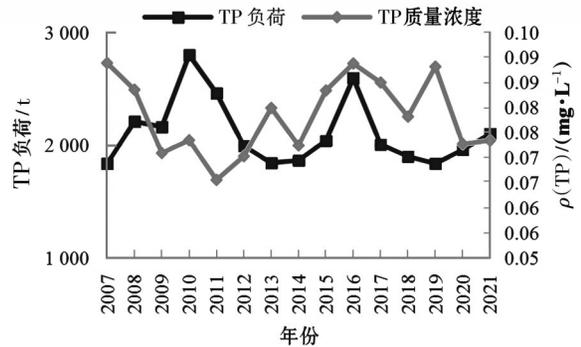


图3 入湖TP年负荷量和湖体TP质量浓度关系

2.2 引江济太对湖体总磷的影响

与太湖入湖水量相比,通过望虞河实施的引江调水^[4]占比为0.9%~14.8%,平均为6.9%;与太湖上游入湖河道相比,长江水TP质量浓度较低(仅相当于其他入湖河道的一半左右)。望虞河入湖水质是全湖22条主要入湖河流中水质最优的河流之一,是目前太湖唯一一条水质、水量均能保障的清水补给通道。根据水量、水质计算,望虞河引江济太调水输入的TP负荷量占比在0.7%~9.2%,平均仅占5.1%。以调水入湖量最大的2011年为例,当年调水

入湖量为16亿,占当年入湖总水量14.8%,入湖的TP负荷量约208 t,占当年入湖TP负荷量的8.5%,而当年太湖湖体的TP质量浓度是2007年以来最低的一年(图4)。

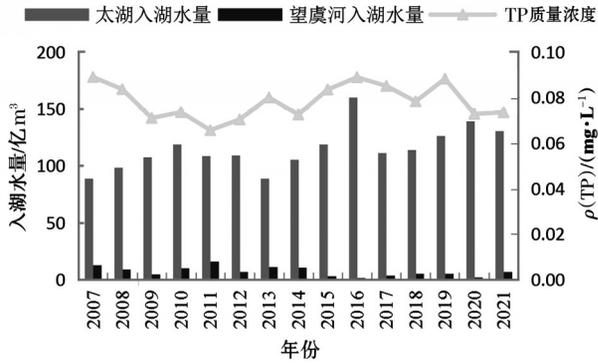


图4 引江济太入湖水量和湖体TP质量浓度关系

2.3 大气沉降对湖体总磷的影响

大气湿沉降携带入湖的TP主要取决于降水中的TP质量浓度及年降水量的变化。根据无锡太湖站周边监测点的监测数据,2017年降水中TP的月平均质量浓度波动范围为0.007~0.075 mg/L,全年平均值为0.023 mg/L。据此推算,2017年通过降水带入太湖的TP负荷量约75 t,相对于入湖TP负荷和底泥及蓝藻释放,这部分量相对较小,不会对太湖产生明显影响。

3 内源磷循环对湖体总磷的影响

3.1 底泥磷释放对湖体总磷的影响

太湖是典型的大型浅水湖泊,表层底泥(0~10 cm)间隙水的磷含量较高,一般为背景值的2~3倍左右,而在局部污染严重的湖区,如湖西部等区域可达背景值的5倍之多。沉积物中磷的释放主要受底泥中磷含量水平、沉积物性质、温度、溶解氧、pH、风浪扰动等非生物因素,以及水生生物、底栖生物扰动、微生物的种类活性等生物因素的影响。

通常,底泥中磷的释放可分为静态和动态2种释放方式。静态释放方式主要是通过底泥间隙水与上覆水之间磷的质量浓度梯度扩散实现的;而动态释放通常是指底泥再悬浮过程中引起的底泥内源磷释放。在夏季水位低的情况下,风浪扰动会导致大量表层底泥再悬浮,从而造成水体中颗粒态、溶解态等磷的增加,尤其是在无水草生长的藻型湖区,底泥再悬浮会更加严重。据中国科学院南京地理与湖泊研究所研究^[5]显示:太湖悬浮物全年平均

沉降速率约为377 g/(m²·d),其中,藻型湖区沉降量为439 g/(m²·d),草型湖区仅为15 g/(m²·d);在藻型湖区中,沉积物再悬浮释放出的TP估算可使水体中的TP质量浓度增加约0.009~0.04 mg/L。另据南京林业大学刘新等^[6]研究发现,太湖内源释放受风浪扰动影响较大,在其所做的模拟实验中发现,由太湖底泥再悬浮引起的磷释放量约占太湖磷负荷总量的20%~30%。

3.2 蓝藻暴发对总磷影响

大量的理论和实验研究^[7]表明:磷是藻类生长的关键性限制因子,且两者关系十分密切。据监测资料分析,太湖蓝藻生物量与TP呈显著的正相关关系,图5是2007年以来太湖湖体Chl-a与TP走势图,图中清晰表明,两者变化趋势十分相似。

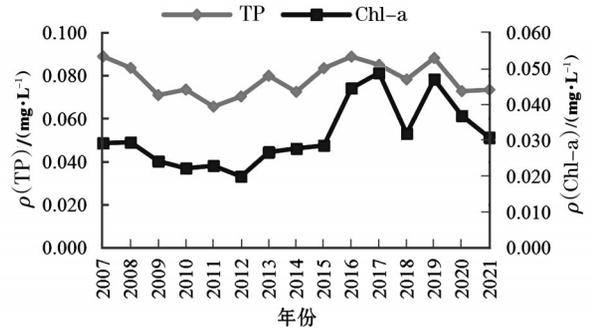


图5 太湖TP与Chl-a质量浓度变化趋势

由于蓝藻体内的核酸、磷酸酯等成分中均含有大量的磷,因此,水体中蓝藻聚集后,一方面会使得水体中藻类有机颗粒态磷含量大量增加,从而导致水体中TP质量浓度的增加;另一方面,由于蓝藻水华的聚集、暴发,在藻类的光合作用下,水体中的酸碱平衡被改变,导致水体中的pH值升高,促进了底泥中磷的释放。中国环境科学研究院金相灿等^[8]研究认为:pH值是影响太湖沉积物磷释放的重要因素,在酸性和碱性条件下,均有助于沉积物的磷释放;碱性条件下,促进铝铁磷的释放,酸性条件下,促进钙磷的释放,而太湖污染底泥中,以铝铁磷为主,pH值增加会导致磷释放的大幅度增加,而pH值下降对磷释放的影响较小。这些释放出来的溶解态的磷,又被蓝藻吸收利用,进而转化为藻体中颗粒态的磷,造成水体中TP的增加。此外,当水体中的蓝藻水华衰亡、分解时,会在水体底层形成极度缺氧的环境,也会促进沉积物中磷的释放。

(下转第29页)

道的通航和排涝能力,后期再从源头上治理。其次,可在河道两侧植树种草,做好堤岸维护管理工作,最大限度降低水流侵蚀强度,减少日常淤泥对河道的冲刷。针对河道富营养化问题,需严格控制外来营养物质的进入,河道中可考虑种植凤尾莲、芦苇和荷花等植物,能够吸附、转化、降解水体中大量的氮、磷元素,以及悬浮颗粒。

参考文献:

- [1] 罗帷. 杭嘉湖平原河道生态建设理论与应用研究[D]. 杭州:浙江大学,2011.
- [2] 赵晨程,高玉琴,刘钺,等. 基于云模型的生态河道建设

评价[J]. 水资源保护,2022,38(2):183-189.

- [3] 石伊博. 基于生态修复理念的城市河道景观规划探究[D]. 郑州:河南农业大学,2021.
- [4] 韩黎. 生态河道治理模式及其评价方法研究[D]. 大连:大连理工大学,2010.
- [5] 徐枫. 生态、景观与水利工程融合的河道规划设计研究[D]. 福州:福建农林大学,2011.
- [6] 徐蛟,王良杰. 江苏省平原沙土区河道生态提升建设探索[J]. 中国水利,2020(23):42-43.
- [7] 唐杰,陈垚,程麒麟,等. 河道形态改造对城市河流生态水力性能的影响[J]. 水资源保护,2022,38(6):185-193.
- [8] 黄百顺,费成效. 河道治理工程中水土保持方案与措施[J]. 安徽农学通报,2011,17(7):171-172.

(上接第24页)

据监测资料,2015年以后,随着太湖蓝藻生物量大幅度增加,全湖pH平均值已由2007年的8.0上升至8.5左右,根据中科院南京地理与湖泊研究所朱梦圆等^[9]所做的室内模拟研究,水华衰亡分解时,在草型湖区、藻型湖区的沉积物TP平均释放改变量分别为-3.01、0.75 mg·m⁻²·d⁻¹,上覆水中溶解性磷的质量浓度分别增加0.053、0.219 mg/L。

4 结论与建议

(1)2021年太湖TP质量浓度为0.073 mg/L,虽比2007年下降18%,但未能达到国家治太总体方案确定的2020年湖体TP目标。且2013年起呈逐年上升趋势,2019年后虽有所下降,但仍维持在高位。

(2)入湖污染负荷量总体呈波浪式变化趋势,但入湖总量大、远超环境容量是太湖磷等营养盐长期维持在高位的根本原因,大量入湖TP在底泥中蓄积,是底泥磷释放的源泉。调引长江水对太湖TP影响小,引江调水入湖水量占总入湖水量的比例在0.9%~14.8%,平均为6.9%,长江入湖TP质量浓度较低,调水输入的TP负荷量占比在0.7%~9.2%,平均仅占5.1%;调引长江水所携带的外源磷负荷输入不足以导致湖体TP升高。

(3)高存量的蓝藻生物量导致水体中pH值升高,加剧底泥中磷的释放,可能是太湖水体中TP升高的直接原因;这些释放出来的磷进一步促进了蓝藻生长,形成恶性的内循环,导致水体中TP质量浓度大幅度增加。

(4)太湖水环境治理要进一步强化系统思维,

要从流域性氮磷污染输入管控为主转换至湖内、湖外氮磷污染控制并重,在有效控制外源污染输入的同时,全力加强内源污染控制,修复湖体生态系统,增强湖泊生态自净能力。应进一步加强科学研究,进一步厘清太湖外源输入、内源释放等因素对水体中TP负荷的贡献比,并在此基础上,结合蓝藻暴发状况及太湖的水环境容量,科学、合理地设定太湖主要入湖河流和湖体未来水质目标。

参考文献:

- [1] 王华,陈华鑫,徐兆安,等. 2010—2017年太湖总磷浓度变化趋势分析及成因探讨[J]. 湖泊科学,2019,31(4):919-929.
- [2] 殷鹏,张建华,华萍,等. 太湖TN、TP、蓝藻生物量变化趋势[J]. 江苏水利,2021(11):6-9.
- [3] 杨文晶,谈剑宏,姜宇. 苏州太湖水体氮、磷含量及形态组成分析[J]. 江苏水利,2018(5):40-43.
- [4] 陆昊,杨柳燕,杨明月,等. 太湖流域上游降水量对入湖总氮和总磷的影响[J]. 水资源保护,2022,38(4):174-181.
- [5] 朱广伟,高光,秦伯强,等. 浅水湖泊沉积物中磷的地球化学特征[J]. 水科学进展,2003,14(6):714-719.
- [6] 刘新,王秀,赵珍,等. 风浪扰动对底泥内源磷钝化效果的影响[J]. 中国环境科学,2017,37(8):3064-3071.
- [7] 李建平,吴立波,戴永康,等. 不同氮磷比对淡水藻类生产的影响及水环境因子的变化[J]. 生态环境,2007,16(2):342-346.
- [8] 金相灿,王圣瑞,庞燕. 太湖沉积物磷形态及pH值对磷释放的影响[J]. 中国环境研究,2004,24(6):707-711.
- [9] 朱梦圆,朱广伟,王永平. 太湖蓝藻水华衰亡对沉积物氮、磷释放的影响[J]. 环境科学,2011,32(2):409-415.