

# 太湖 TN、TP、蓝藻生物量变化趋势

殷 鹏<sup>1</sup>, 张建华<sup>2</sup>, 华 萍<sup>1</sup>, 李 霞<sup>3</sup>, 孔繁璠<sup>4</sup>, 耿 浩<sup>5</sup>

(1. 江苏省水资源服务中心, 江苏 南京 210029; 2. 江苏省水利厅, 江苏 南京 210029;  
3. 江苏省水利科学研究院, 江苏 南京 210017; 4. 江苏省水文水资源勘测局, 江苏 南京 210029;  
5. 邳州市水利工程管理总站, 江苏 邳州 221300)

**摘要:**通过分析太湖 TN、TP、蓝藻生物量等生态环境要素的相互关系, 探明太湖蓝藻、TP 异常升高的主要原因, 并提出治理建议, 为下阶段太湖流域水环境综合治理提供借鉴。

**关键词:** TN; TP; 蓝藻生物量; 太湖

中图分类号: TV122

文献标识码: A

文章编号: 1007-7839(2021)11-0006-04

## Change trend mechanism of total nitrogen, total phosphorus and cyanobacteria biomass in Taihu Lake

YIN Peng<sup>1</sup>, ZHANG Jianhua<sup>2</sup>, HUA Ping<sup>1</sup>, LI Xia<sup>3</sup>, KONG Fanfan<sup>4</sup>, GENG Hao<sup>5</sup>

(1. Water Resources Service Center of Jiangsu Province, Nanjing 210029, China;  
2. Water Resources Department of Jiangsu Province, Nanjing 210029, China;  
3. Jiangsu Water Conservancy Science Research Institute, Nanjing 210017, China;  
4. Jiangsu Hydrology and Water Resources Survey Bureau, Nanjing 210029, China;  
5. Pizhou Water Conservancy Project Management Station, Pizhou 221300, China)

**Abstract:** By analyzing the relationship between TN, TP, cyanobacteria biomass and other ecological environmental factors in Taihu Lake, the main reasons for the abnormal increase of cyanobacteria and TP in Taihu Lake were explored, and suggestions for governance were put forward to provide reference for the comprehensive management of water environment in Taihu Lake Basin in the next stage.

**Key words:** TN; TP; cyanobacterial biomass; Taihu Lake

太湖是我国第三大淡水湖, 地处长三角核心区域, 位于长江经济带战略沿线, 是“一带一路”重要交汇点, 是长三角地区重要饮用水水源地, 对保障流域与区域防洪安全、供水安全、生态安全具有不可或缺的支撑作用。经各方长期共同努力, 太湖治理初见成效, 流域水环境质量持续改善。但必须认识到, 制约太湖水质根本好转的因素十分复杂, 2007 年以来, 虽然太湖主要入湖河流水质总体改善, 但是太湖湖体却出现磷升、氮降、蓝藻生物量升高的特殊变化趋势。本文通过分析太湖 TN、TP、蓝

藻生物量等生态环境要素的相互关系, 探明太湖蓝藻、TP 异常升高的主要原因, 并提出治理建议, 为下阶段太湖流域水环境综合治理提供借鉴。

## 1 数据分析

### 1.1 太湖湖体 TP、TN、蓝藻生物量变化趋势

数据来源主要为太湖流域管理局历年太湖健康状况报告基础资料。太湖流域管理局在太湖共布设 33 个采样点, 采用加权平均的方法计算平均值, 分析得出 2007 年以来太湖 TN、TP、蓝藻生物量

收稿日期: 2021-05-20

基金项目: 江苏水利科技项目 (2019006)

作者简介: 殷鹏 (1987—), 男, 高级工程师, 硕士, 主要从事太湖治理、水资源保护研究工作。E-mail: 540649446@qq.com

变化趋势存在明显的差异性。

太湖 TN 平均质量浓度呈持续下降趋势。由 2007 年 2.76 mg/L 下降至 2020 年 1.45 mg/L, 下降幅度达到 47.5%。

太湖 TP 平均质量浓度呈现先下降后反弹, 并维持高位波动状态。2007—2011 年, 太湖 TP 平均质量浓度呈下降趋势, 由 2007 年 0.089 mg/L 下降至 2011 年 0.066 mg/L, 降幅达到 25.8%; 但是之后开始反弹, 2016 年达到第一个峰值 0.089 mg/L, TP 质量浓度回升至 2007 年水平; 2017—2019 年成高位波动状态, 其中 2019 年再次达到 0.089 mg/L; 2020 年太湖 TP 质量浓度有所下降, 降至 0.073 mg/L。

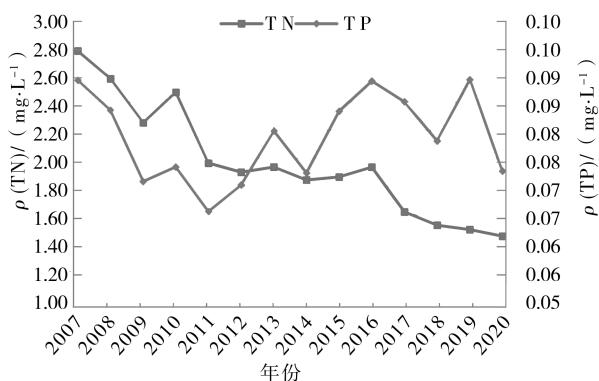


图 1 太湖 TP、TN 年际变化

太湖蓝藻生物量呈现先下降、后上升趋势。2007 年表征太湖蓝藻生物量的叶绿素 a 质量浓度为 0.0295 mg/L, 2012 年已下降至 0.0203 mg/L, 下降 31.1%。之后开始升高, 2015 年回升至 0.0296 mg/L, 与 2007 年水平相当, 2016 年起出现明显反弹, 2017 年达到 0.0493 mg/L, 比 2007 年高 67.1%。

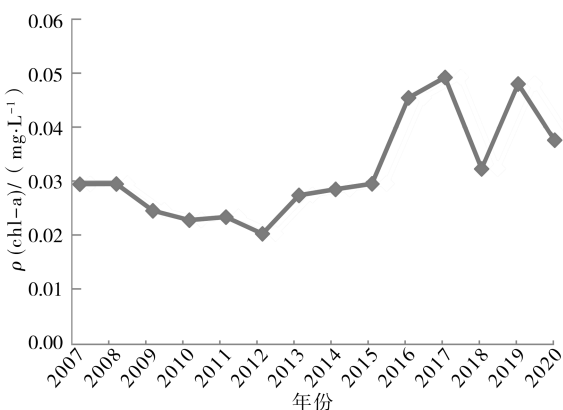


图 2 太湖叶绿素 a 质量浓度年际变化

## 1.2 入湖河流 TP 质量浓度及入湖通量

太湖 22 条主要入湖河流占入湖水量的 80% ~ 90%, 入湖污染负荷占 70% ~ 80%。2007 年以来,

22 条主要入湖河流水质明显改善。2007 年, 22 条主要入湖河流中有 12 条为劣 V 类水质, 随着入湖水质的不断改善, 自 2015 年起, 已全面消除劣 V 类。2019 年水质达到或优于 III 类的有 11 个, 占 50%, IV 类有 10 个, 占 45.5%, V 类一个, 占 4.5%。

受流域降水量增加、区域下垫面变化等因素影响, 2007 年以来, 太湖入湖入湖水量总体呈增加趋势, 由 2007 年 89 亿  $\text{m}^3$ , 增加至 2019 年 126 亿  $\text{m}^3$ , 增加了 41.6%。

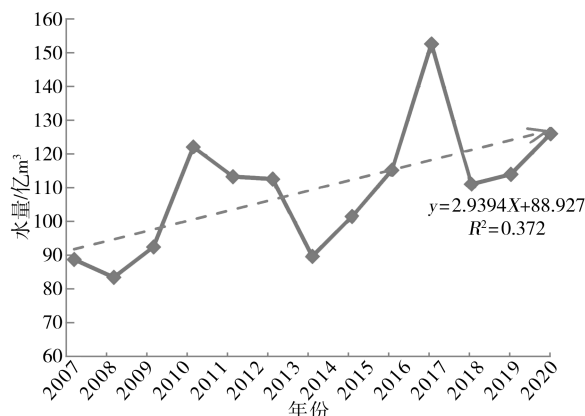


图 3 太湖入湖水量年际变化

根据太湖环湖入湖河流入湖污染负荷统计, 太湖入湖 TP 负荷总体稳定, 2007 年为 0.19 万 t, 2010 年为最高值 0.28 万 t, 2019 年为 0.18 万 t, 略低于 2007 年水平。叠加入湖水量增加影响, 太湖入湖河流 TP 平均质量浓度呈持续下降趋势, 由 2007 年 0.21 mg/L, 下降至 2019 年 0.14 mg/L, 下降了 33.3%。

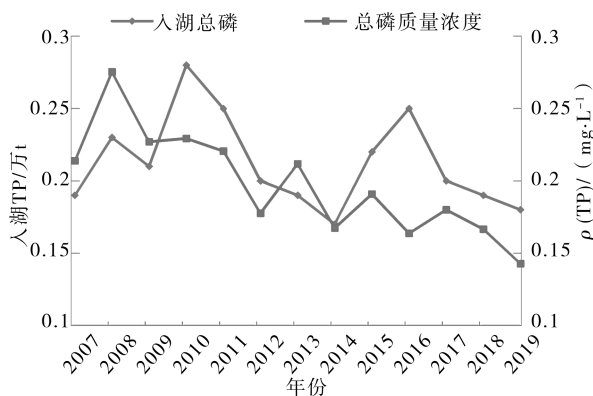


图 4 太湖入湖河流 TP 负荷及平均质量浓度年际变化

太湖入湖 TN 负荷在波动中略有下降, 2007 年入湖 TN 负荷为 4.26 万 t, 2019 年为 3.64 万 t, 较 2007 年下降 14.5%, 2010 年为 2007 年以来 TN 入湖负荷最高值, 为 5.65 万 t, 比 2007 年高 32.6%。太湖入湖河流 TP 平均质量浓度下降幅度较 TP 更为明显, 2007 年入湖河流 TN 平均质量浓度为 4.79 mg/L, 2019 年下降至 2.89 mg/L, 下降了

39.7%。

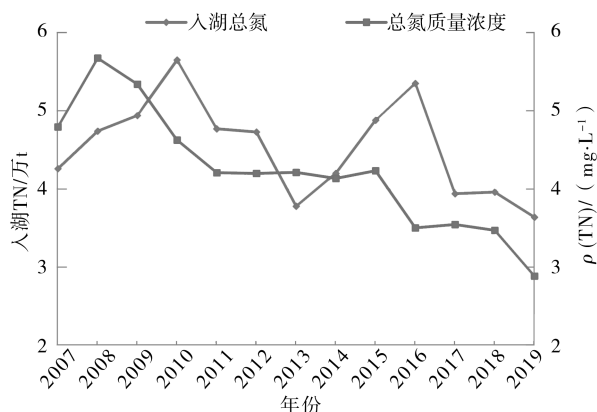


图5 太湖入湖河流 TN 负荷及平均质量浓度年际变化

### 1.3 太湖地区气温变化

根据江苏省气象台监测,2007 年以来,太湖地区气温呈先下降后上升趋势。其中,2007—2011 年为下降阶段,太湖地区一季度平均温度、全年平均温度分别从 8.3℃、17.5℃降低至 4.9℃、16.3℃,分别降低了 3.4℃、1.2℃。2011 年之后,太湖地区温度呈持续增加趋势,2020 年一季度平均温度、全年平均温度分别回升至 9.0℃、17.5℃,其中一季度平均温度比 2007 年同期升高 0.7℃。

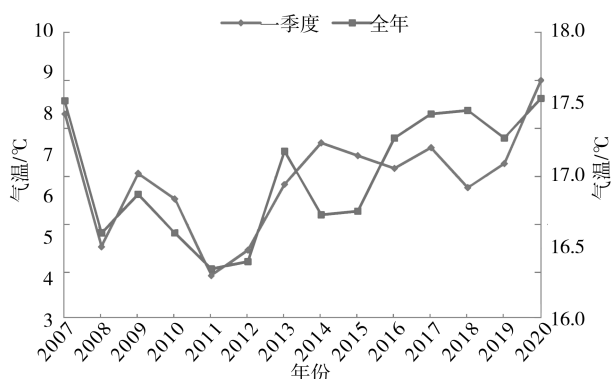


图6 太湖地区气温年际变化

### 1.4 相关性分析

对上述数据进行相关性分析,结果见表 1。

## 2 讨论

### 2.1 湖体 TN 质量浓度影响因素

从第一章节数据可以看出,太湖湖体 TN 质量浓度、入湖 TN 通量、入湖 TN 平均质量浓度年际变化趋势分别为持续下降(下降 47.5%)、波动中略有下降(下降 14.5%)、持续下降(下降 39.7%),说明太湖湖体 TN 质量浓度与入湖 TN 通量、入湖 TN 平均质量浓度均呈正相关关系,其中与入湖 TN 平均质量浓度相关系数达到 0.84。此外,太湖湖体 TN 质量浓度与太湖叶绿素 a 平均质量浓度相关系数为

-0.49,说明太湖蓝藻生物量增加,有利于太湖 TN 的下降。秦伯强等<sup>[1]</sup>研究表明,太湖蓝藻生物量的增加可以影响太湖氮元素的循环,可以促进附着在蓝藻团上的微生物进行硝化、反硝化作用,使氮元素转化为氮气离开湖体,从而降低湖体的 TN 质量浓度。

### 2.2 湖体 TP 质量浓度影响因素

太湖入湖 TP 居高不下,2007 年以来,持续维持在 0.17 万 t 以上,远超太湖 TP 环境容量(514 t),这是太湖藻型生境难以改变的根本原因,但却不是太湖 TP 异常升高的直接原因。太湖 TP 质量浓度下降的时段(2007—2010 年),太湖入湖河流 TP 通量却是上升阶段;太湖 TP 质量浓度上升的时段(2011—2013 年),却又是入湖河流 TP 通量下降阶段;入湖河流 TP 平均质量浓度下降(2019 年较 2007 年下降了 33.3%),并没有带来太湖湖体 TP 质量浓度的改善。太湖 TP 平均质量浓度与入湖 TP 通量、入湖 TP 平均质量浓度的相关系数分别为 -0.20、-0.23,说明入湖 TP 通量、入湖 TP 平均质量浓度变化均不是近几年太湖 TP 异常升高的直接原因,王华等<sup>[2-3]</sup>研究表明,蓝藻生物量的增加会促进有机态磷向可以被蓝藻吸收的无机态磷转化,并进一步促进蓝藻生长;大量蓝藻聚集、死亡后又会沉降到底泥的表面,引起底泥表层缺氧,造成 pH 升高,增加底泥磷的释放。此次研究发现,太湖 TP 平均质量浓度与太湖叶绿素 a 平均质量浓度相关系数达到 0.75,呈高度的正相关关系,说明太湖蓝藻生物量增加,加剧内源 TP 释放是太湖 TP 升高的直接原因。

### 2.3 湖体蓝藻生物量的影响因素

陈小华等<sup>[4]</sup>相关研究表明,只有当 TP 控制在 0.02 mg/L 以下,或者 TN 控制在 0.2 mg/L 以上,才能抑制蓝藻生长,太湖目前氮磷质量浓度,远远没有达到上述阈值。2007 年以来,太湖入湖河流 TN、TP 平均质量浓度,TN 入湖通量,湖体中 TN 质量浓度都成下降趋势;湖体 TP 质量浓度虽有反弹,但是也没有超过 2007 年水平,入湖 TP 通量在波动中有所下降。以上指标的变化趋势均与太湖蓝藻生物量的变化趋势不相符,太湖叶绿素 a 平均质量浓度与入湖 TP 通量、入湖 TN 通量、入湖 TP 平均质量浓度、入湖 TN 平均质量浓度相关系数分别为 -0.21、-0.38、-0.54、-0.66,说明入湖 TP、TN 质量浓度及通量的变化,不是近几年太湖蓝藻生物量异常升高的直接原因。

表 1 太湖主要环境因子相关性分析

参数	a	b	c	d	e	f	g	h	i
a:入湖水量		0.39	0.33	-0.62	-0.69	0.18	-0.47	0.47	0.09
b:入湖 TP 通量	0.39		0.86	0.47	0.28	-0.20	0.40	-0.21	-0.44
c:入湖 TN 通量	0.33	0.86		0.40	0.44	-0.29	0.50	-0.38	-0.54
d:入湖 TP 平均质量浓度	-0.62	0.47	0.40		0.90	-0.23	0.79	-0.54	-0.42
e:入湖 TN 平均质量浓度	-0.69	0.28	0.44	0.90		-0.29	0.84	-0.66	-0.45
f:太湖 TP 平均质量浓度	0.18	-0.20	-0.29	-0.23	-0.29		-0.01	0.75	0.73
g:太湖 TN 平均质量浓度	-0.47	0.40	0.50	0.79	0.84	-0.01		-0.49	-0.22
h:叶绿素 a 平均质量浓度	0.47	-0.21	-0.38	-0.54	-0.66	0.75	-0.49		0.68
i:太湖地区年均温度	0.09	-0.44	-0.54	-0.42	-0.45	0.73	-0.22	0.68	

说明气象条件的变化可能是近几年太湖蓝藻生物量异常升高的直接原因。叶绿素 a 平均质量浓度与太湖地区年均温度的相关性达到 0.73 ,呈明显的正相关关系。2007 年以来,2007 年、2013 年、2016 至 2020 年太湖地区年均气温达到 17℃ 以上,这其中 2007 年是蓝藻水华高发造成无锡太湖水危机的年份,2013 年是太湖蓝藻开始反弹的起点年份,2016—2020 年是太湖蓝藻居高不下的年份,再次说明高温是蓝藻生物量增加的重要原因。而 2016—2020 年太湖地区年均气温与 2007 年水平相当,但是 2016—2020 年太湖叶绿素 a 质量浓度均值达到 0.0426 mg/L,比 2007 年(0.0295 mg/L)高 44.4%,说明还有其他气象因素,促进了太湖蓝藻生物量的增加。

3 结论与建议

2007 年以来,太湖 TN 质量浓度呈持续下降趋势,TP 质量浓度呈现先下降后反弹,并维持高位波动状态。

太湖入湖 TP 负荷总体稳定,太湖入湖河流 TP 平均质量浓度呈持续下降趋势,2019 年降至 0.14 mg/L,较 2007 年下降了 33.3%。太湖入湖 TN 负荷在波动中略有下降,入湖河流 TP 平均质量浓度呈下降趋势,2019 年下降至 2.89 mg/L,较 2007 年下降了 39.7%。

入湖 TN 通量、入湖 TN 平均质量浓度的降低,以及太湖蓝藻生物量的增加等因素的共同作用,造成太湖 TN 质量浓度持续下降。

入湖 TP 通量、入湖 TP 平均质量浓度变化均不是近几年太湖 TP 异常升高的原因;蓝藻生物量的增加促进了底泥中磷的释放 ,是太湖 TP 升高的直接原因。

外源氮磷入湖负荷长期超湖体纳污能力是太湖藻型生境难以改变的根本原因,但不是近几年太湖蓝藻异常升高的直接原因。温度等自然条件的变化,是近几年蓝藻生物量异常升高的主要原因。

新一轮太湖治理要坚持外源治理与内源治理并重,更大力度推进太湖生态清淤工程,削减太湖内源污染,结合清淤工程,恢复太湖湖滨生态,提升湖体自净能力。

要进一步加强太湖流域日照、风速、降雨、湖流等自然条件的监测,研究其与蓝藻生长的内在关系,为新一轮太湖治理提供技术支撑。

参考文献:

[1] 秦伯强, 范成新. 大型浅水湖泊内源营养盐释放的概念性模式探讨[J]. 中国环境科学, 2002(2):150-153.

[2] 王华, 陈华鑫, 徐兆安, 等. 2010—2017 年太湖 TP 质量浓度变化趋势分析及成因探讨[J]. 湖泊科学, 2019(31):919-929.

[3] 殷鹏, 张建华, 华萍. 改善东太湖水环境的水工程措施研究[J]. 江苏水利, 2019(7):1-4.

[4] 陈小华, 李小平, 王菲菲, 等. 苏南地区湖泊群的富营养化状态比较及指标阈值判定分析[J]. 生态学报, 2014(34):390-399