

太湖流域典型平原圩区氮污染分析

徐责茗^{1,2}, 耿建萍³, 蒋咏⁴, 崔桢², 高俊峰², 李国柱¹

(1. 吉林师范大学旅游与地理科学学院, 吉林 四平 136000;

2. 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 中国科学院流域地理学重点实验室, 江苏 南京 210008;

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

摘要:为探究圩区氮污染特征,选择太湖流域典型圩区——常州溧阳尖圩,基于2014—2017年的气象与水质监测数据集,分析圩区氮污染的季节变化及关键影响因素。这一研究可为氮污染科学防控提供理论基础。

关键词:氮污染; 季节变化; 影响因素; 圩区; 太湖流域

中图分类号:X52

文献标识码:B

文章编号:1007-7839(2021)09-0021-06

Analyzing nitrogen pollution in typical lowland polders in Lake Taihu Basin

XU Zeming^{1,2}, GENG Jianping³, JIANG Yong⁴, CUI Zhen²,
GAO Junfeng², LI Guozhu¹

(1. College of Tourism and Geographic Science, Jilin Normal University, Siping 136000, China;

2. Key Laboratory of Watershed Geographic Sciences, Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China;

3. Jiangsu Hydrology and Water Resources Survey Bureau, Nanjing 210029, China;

4. Water Resources Service Center of Jiangsu Province, Nanjing 210029, China)

Abstract: In order to explore characteristics of nitrogen (N) pollution in polder areas, the typical polder area of Taihu Lake Basin, Polder Jian in Liyang, Changzhou was selected. Based on the meteorological and water quality monitoring data set from 2014 to 2017, the seasonal variation and key influencing factors of N pollution in the polder area were analyzed, which could provide a theoretical basis for scientific prevention and control of N pollution.

Key words: nitrogen pollution; seasonal variation; impact factors; polder; Taihu Lake Basin

圩区是我国平原河网区的主要地理单元,分布十分广泛。如我国长江中下游的太湖流域,圩区占平原区总面积的50%以上^[1]。针对圩区的研究多以防洪排涝为主^[2-3],近些年随着圩区农业活动的增强,化肥大量使用,圩区已成为面源污染的主要来源^[4-5]。面源污染造成太湖流域大面积水体富营养化,进而引发蓝藻水华、水体缺氧、鱼类死亡等突出水环境问题^[6-7]。如,2007年5月太湖蓝藻水华

事件造成无锡自来水污染,威胁近200万人的饮用水安全。

农业面源污染造成了严重氮流失^[8-11],而N是水体藻类生长的重要元素之一;其中溶解态氮(DN)占TN的比重大,是水体富营养化的重要物质基础,颗粒态氮(PN)占TN的比重较小。圩区氮污染往往存在明显的季节变化,与季节性施肥有关,同时不同季节温度、降雨等气象要素的差异对氮输

收稿日期:2021-01-11

基金项目:江苏省水利科技项目(2020042、2020032);吉林省社会科学基金项目(2020B023)

作者简介:徐责茗(1996—),男,硕士研究生,研究方向为区域可持续发展。E-mail: xzmon2r@163.com

移过程中的理化及生物反应也产生不同程度的影响^[12-14]。可见,圩区氮污染规律是水环境管理与研究的热点问题。而目前关于圩区氮污染的研究较少,过去多从流域尺度分析水质特征,而平原圩区的氮输移过程因受自然条件和人工控制水文过程的双重影响,准确解析氮污染变化规律十分困难,有待进一步深入研究。本研究选择太湖流域典型圩区,基于历史监测的气象与水质数据,分析平原圩区氮污染的季节变化及关键影响因子,有望为平原圩区氮污染防治提供理论基础。

1 研究区域与数据

1.1 研究区域的典型性

本研究选择的典型圩区为尖圩($31^{\circ}29'2'' \sim 31^{\circ}29'13''N$, $119^{\circ}25'17'' \sim 119^{\circ}25'37''E$),位于常州市溧阳西北处约 9 km 处,面积 $1.06 \times 10^5 m^2$,见图 1。圩区海拔较低,地势平坦,田地成块,主要土地利用类型为水田(50.1%)、旱地(21.7%)、建设用地(19.2%)、水域(坑塘与沟渠,9.0%);圩内沟渠呈网状分布,是农田与建设用地的排水通道,且水力梯度低;圩区四周均为河道,强降雨期间,圩外河道水位通常高于圩内水位,圩内水体通过圩区北部的排涝泵站排出;圩内有一自然村(尖圩村),人口约为 100 人,无工业污染源。尖圩的上述地形、水文与土地利用特征与太湖流域其他平原河网区极其相似,具有代表性^[15]。

1.2 监测数据

本研究包括 2014—2017 年的气象与水质监测数据。其中气象数据为来自国家气象中心溧阳站(编号:58345)的逐日数据,包括 8 项气象指标:日

平均风速、日平均气温、日最高气温、日最低气温、日平均相对湿度、日照时数、日降水量、日平均气压。水质监测采样点为圩区内的坑塘,采样频率为 1 月 2 次;依据国家标准 GB11894—89,采用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法测定 TN 浓度,用 $0.45 \mu m$ 微孔滤膜过滤后测定 DN,PN 为 TN 与 DN 质量浓度之差。

2 结果与分析

2.1 圩区氮污染的季节变化

根据太湖流域的降水规律,将每年分为 3 个时段:丰水期(6—9 月)、平水期(4—5 月、10—11 月)、枯水期(12 月、1—3 月)^[16-18],分析结果(表 1)表明:2014—2017 年期间,氮浓度变化大致呈现出枯水期 > 丰水期 > 平水期的规律,TN 的最高值为 $8.871 mg/L$,最低值为 $1.232 mg/L$ 。枯水期氮浓度最高,是由于降水量较少,导致池塘水位下降,再加上枯水期正值冬小麦的播种与施肥,化肥与农药的使用促使池塘氮浓度升高。PN 占 TN 在枯水期中的比例最小,最小为 2017 年枯水期的比例 5.24%,这是由于枯水期降水较少,农田等土地利用的颗粒物流失较少。

图 2 为圩区 2014—2017 年氮浓度的季节变化,其中 2014—2015 年的氮浓度峰值较高,并在 2015 年秋季峰值最大,2016—2017 年的氮浓度峰值逐渐下降,相较 2014—2015 年氮浓度变化相对平缓,圩区内氮污染得到有效缓解。TN 质量浓度在历年 2 月、7 月和 11 月相对较高,与调研结果总结一致:11 月为小麦或油菜的施肥期,因此氮浓度较高;2 月的峰值是由于降水较少,池塘水位下降,导致

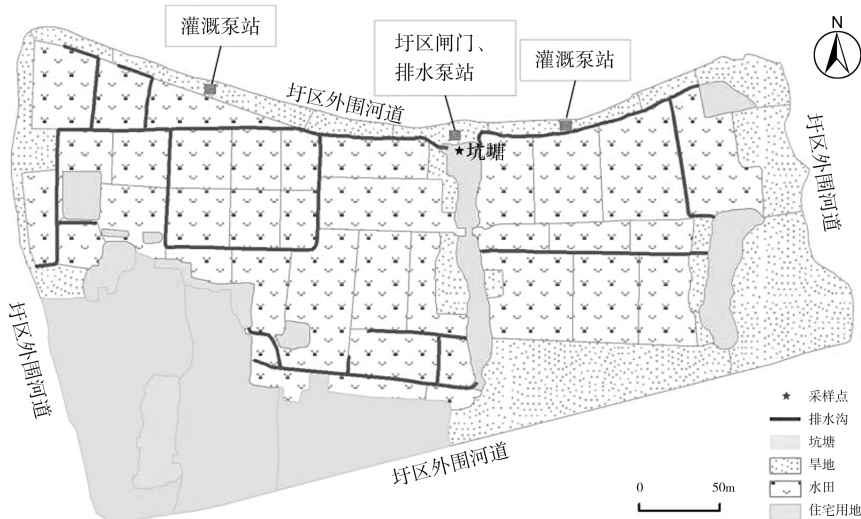


图 1 尖圩及其土地利用

表 1 不同水期太湖流域平原圩区氮浓度变化

年份	时期	$\rho(\text{DN})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	$\rho(\text{PN})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	$\rho(\text{TN})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	降水量/mm
2014	丰水期	3.331 ± 1.801	0.669 ± 0.336	4.000 ± 1.764	791
	平水期	1.727 ± 1.420	0.753 ± 0.575	2.479 ± 1.841	352.4
	枯水期	2.378 ± 1.160	0.464 ± 0.588	2.842 ± 1.306	233.4
2015	丰水期	2.386 ± 2.687	1.112 ± 0.391	3.498 ± 2.650	747.2
	平水期	1.839 ± 1.657	1.074 ± 0.174	2.914 ± 1.624	449.6
	枯水期	3.787 ± 1.645	0.765 ± 0.258	4.552 ± 1.756	248.1
2016	丰水期	2.325 ± 1.017	0.448 ± 0.153	2.773 ± 1.061	630.5
	平水期	2.045 ± 0.619	0.593 ± 0.276	2.638 ± 0.733	680.6
	枯水期	4.197 ± 2.025	0.321 ± 0.210	4.518 ± 1.991	195.4
2017	丰水期	2.299 ± 0.890	0.364 ± 0.246	2.664 ± 1.028	609.6
	平水期	1.555 ± 0.336	0.412 ± 0.213	1.967 ± 0.348	252.8
	枯水期	2.568 ± 0.546	0.142 ± 0.140	2.710 ± 0.482	193.4

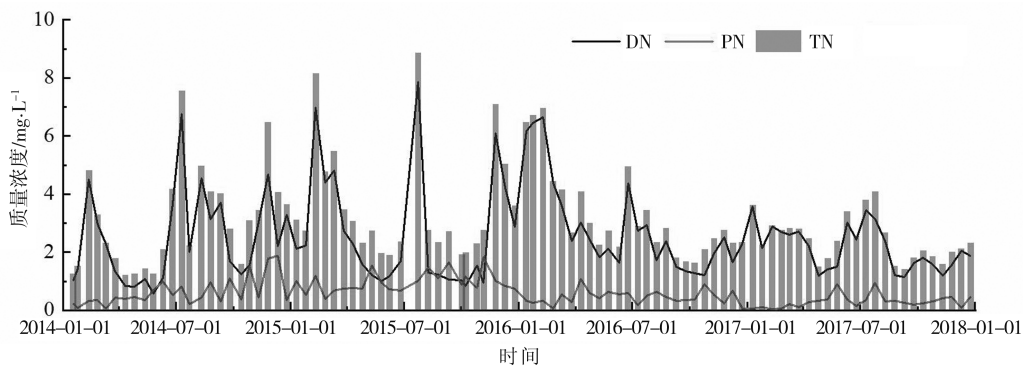


图 2 太湖流域平原圩区氮浓度季节变化

氮浓度较高,同时 2 月也是小麦的施肥期。5 月小麦刚完成收割,但水稻未种植,因此氮浓度极低;至 6 月份氮素浓度有所升高,这是因为 6 月份田地翻整大量施用氮肥作为水稻的基肥,氮肥大量流失导致池塘氮浓度增高;而 7 月的氮素浓度高于 6 月,是因为 7 月水稻拔节期会追施含氮肥料^[19]。

2.2 圩区氮污染的影响因子

圩区氮循环主要包括源过程、去除过程和内部转化过程。源过程包括点源、面源及大气沉降、固氮等;去除过程包括水体出流、反硝化等;内部转化过程包括生物吸收和排泄、微生物分解、硝化作用等,其中影响氮浓度占主导作用的是反硝化过程^[20-21]。上述过程极其复杂,很多机理过程尚未明晰,因此采用 Pearson 相关分析方法,分析气象指标

(8 个)与氮(DTN、PN、TN 以及 DTN 占 TN 比例和 PN 占 TN 的比例)的相关性分析结果(表 2)表明:DN、TN 和 DN/TN 与温度呈显著负相关,PN/TN 与温度呈显著正相关,DTN/TN 与日平均气压呈显著正相关,PN/TN 与日平均气压呈显著负相关(图 3~5)。

结合已有研究成果可知:影响圩区氮循环过程的因素有氧化还原条件、温度、pH、降水、风力等。其中温度对反硝化作用速率的提高对 N₂O 的释放有促进作用,从而促进 NH₃-N 转化为 N₂O 释放^[22-23],造成圩区 DN 浓度下降,而圩区中 TN 主要由 DN 组成,所以圩区中 TN 也与温度呈负相关关系,而 TN 中少部分的 PN 因 DN 浓度下降,使得 PN 占 TN 比例升高,与温度呈正相关关系。从图 5 可

知 DN 占 TN 比例与日平均气压呈正相关,PN 占 TN 比例与日平均气压呈负相关,由此可推测:气压升高对 DN 转化为 N_2O 和 N_2 有抑制作用,降低了水体反硝化速率,DN 占 TN 比例升高。

表 2 圩区水体氮浓度与气象因子的相关关系(样本总例数=95)

		日平均 风速	日平均 气温	日平均 相对湿度	日照 时数	日最低 气温	日最高 气温	日降 水量	日平均 气压
DTN	相关性	-0.026	-0.311 **	-0.047	-0.104	-0.286 **	-0.325 **	0.057	0.198
	显著性(双侧)	0.800	0.002	0.654	0.314	0.005	0.001	0.584	0.055
DTN/TN	相关性	-0.022	-0.341 **	-0.104	-0.056	-0.335 **	-0.334 **	0.074	0.256 *
	显著性(双侧)	0.831	0.001	0.314	0.592	0.001	0.001	0.478	0.012
PN	相关性	-0.031	0.185	0.126	-0.022	0.196	0.165	-0.043	-0.152
	显著性(双侧)	0.764	0.073	0.225	0.831	0.057	0.111	0.677	0.140
PN/TN	相关性	0.022	0.341 **	0.104	0.056	0.335 **	0.334 **	-0.074	-0.256 *
	显著性(双侧)	0.831	0.001	0.314	0.592	0.001	0.001	0.478	0.012
TN	相关性	-0.034	-0.253 *	-0.012	-0.107	-0.226 *	-0.272 **	0.044	0.152
	显著性(双侧)	0.744	0.013	0.908	0.301	0.028	0.008	0.673	0.142

** 相关显著性小于 0.01; * 相关显著性小于 0.05

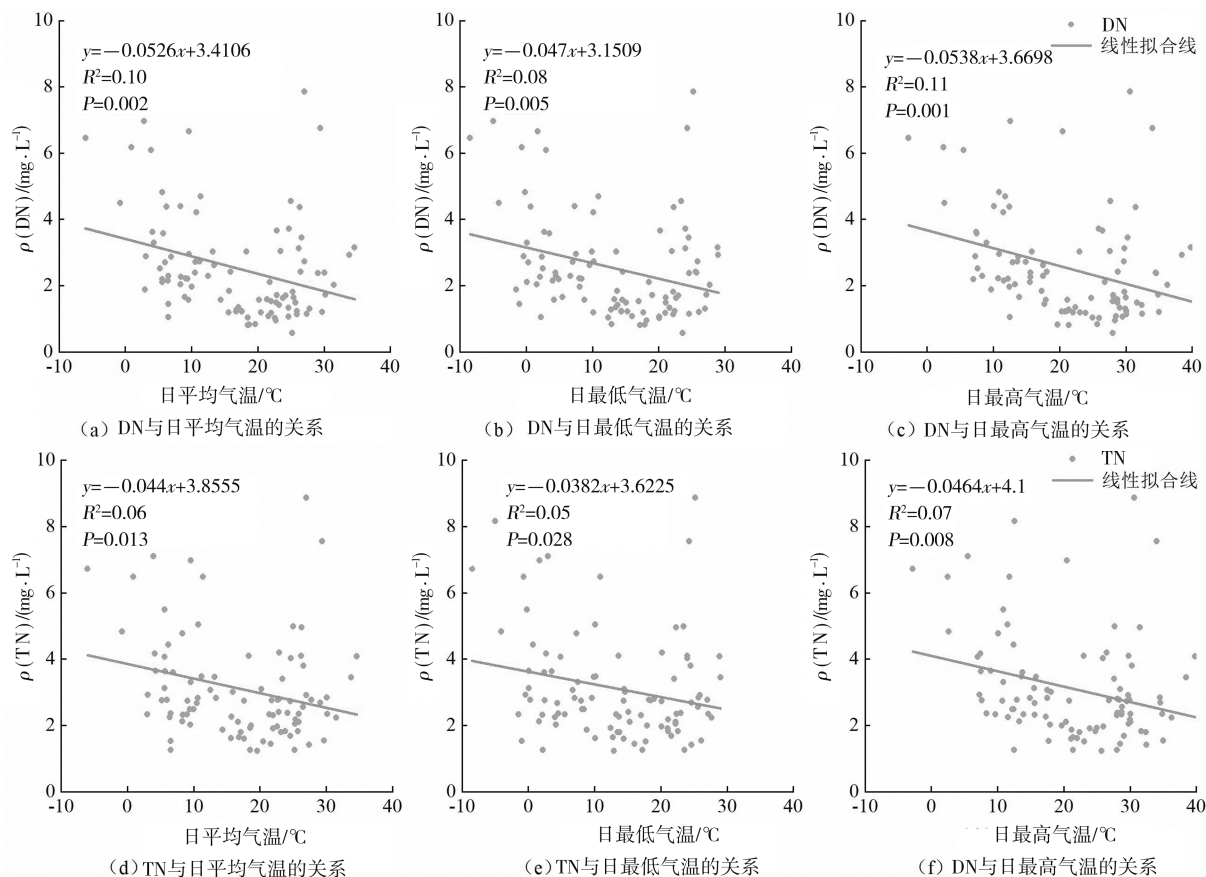


图 3 圩区不同形态氮与气温的相关关系

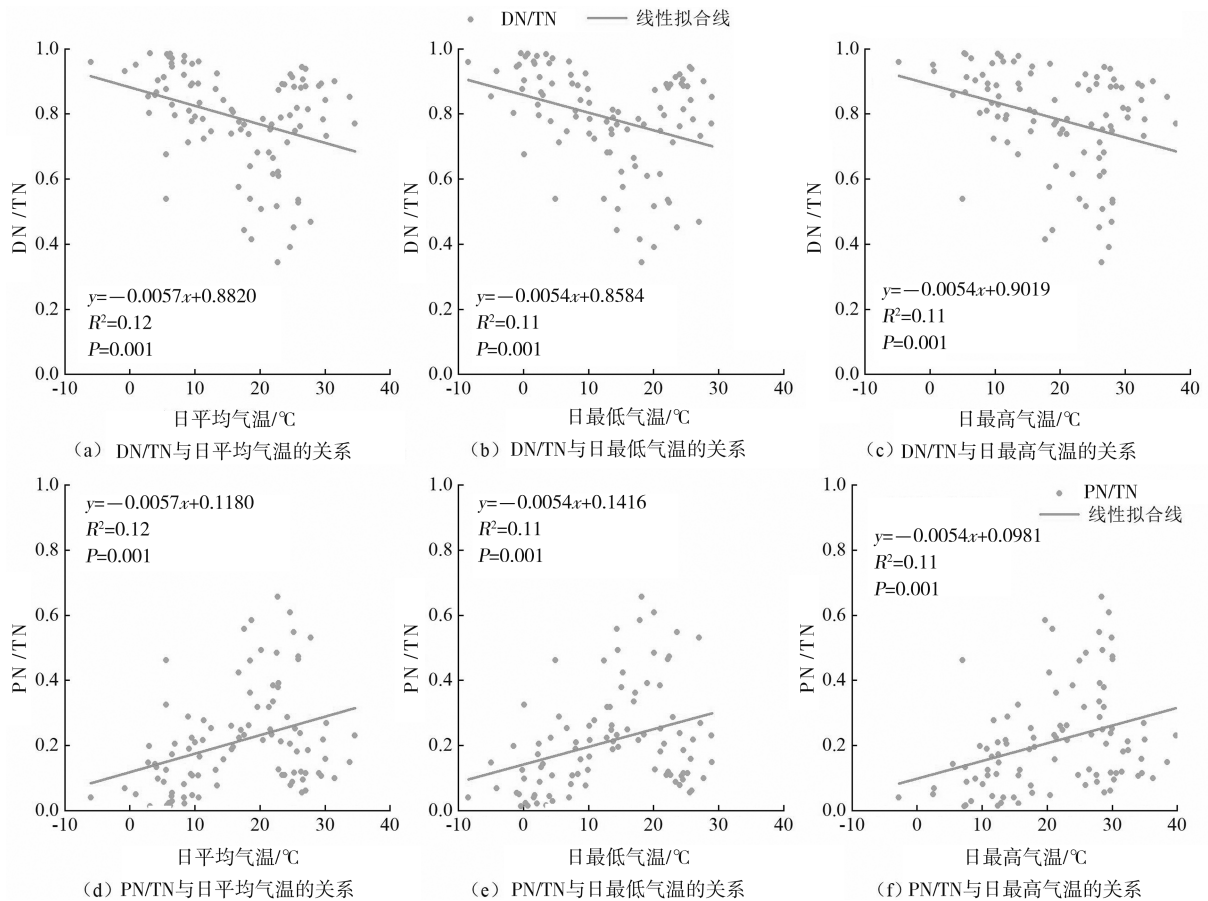


图 4 圩区不同形态氮占 TN 比例与气温的相关关系

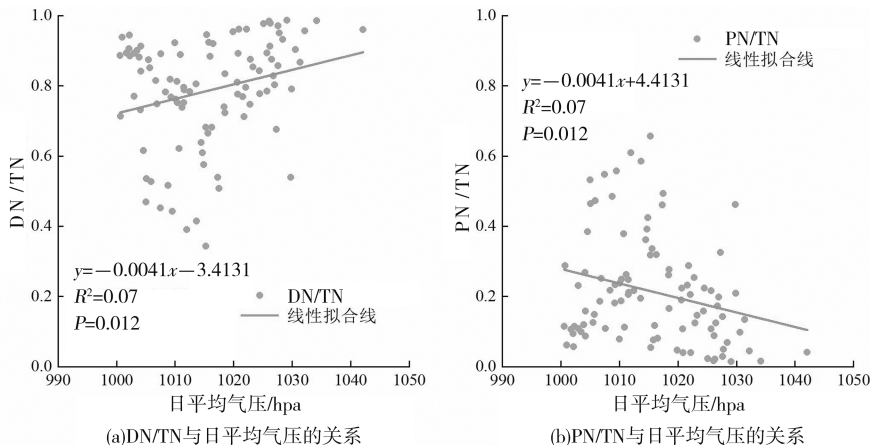


图 5 圩区不同形态氮占 TN 比例与日平均气压的相关关系

3 结论与讨论

本研究选择太湖流域典型圩区(尖圩),基于历史监测的气象与水质数据,分析了圩区氮污染的季节变化规律及主要影响因子,得到以下结论:

(1)尖圩水体氮污染季节变化明显,与农田施肥、降水等要素密切相关。2月、7月和11月的圩区水体氮浓度较高,与农田施肥、降水有关;枯水期氮污染比丰水期和平水期严重,与农田施肥、水量少、

水生高等植物腐烂等要素有关。

(2)尖圩水体氮污染与气象因子相关分析结果表明:DN、TN与温度呈显著负相关,PN占TN比例与温度呈显著正相关,与日平均气压呈显著负相关,DN占TN比例与日平均气压呈显著正相关。其中气温影响了水体反硝化、 N_2O 气体释放等过程,气压影响了 N_2O 气体释放等过程。

(3)圩区氮循环过程机理有待进一步解析:本研究初步讨论了圩区氮污染的季节变化规律及主

要影响因子,但尚缺乏针对氮循环过程的深入研究,有待依托机理过程模型进一步解析氮排放与迁移转化过程机制,从机理角度揭示氮污染的关键源区、主控过程与因子。

参考文献:

- [1] 黄佳聪,高俊峰.平原圩区磷素流失过程模拟[J].湖泊科学,2015,27(2):216-226.
- [2] 高俊峰,韩昌来.太湖地区的圩及其对洪涝的影响[J].湖泊科学,1999(2):105-109.
- [3] 储茵,汪丽婷,马友华,等.巢湖沿岸典型圩区夏季水稻生长期营养盐输出特征研究[J].水土保持学报,2010,24(5):135-140.
- [4] 孙金华,朱乾德,练湘津,等.平原水网圩区非点源污染模拟分析及最佳管理措施研究[J].长江流域资源与环境,2013,22(S1):75-82.
- [5] 夏军,翟晓燕,张永勇.水环境非点源污染模型研究进展[J].地理科学进展,2012,31(7):941-952.
- [6] GUO L. Ecology. Doing battle with the green monster of Taihu Lake[J]. Science, 2007, 317(5842):1166.
- [7] 朱喜,李贵宝,王圣瑞.太湖蓝藻暴发的治理[J].水资源保护,2020,36(6):106-111.
- [8] CONLEY D J, PAERL H W, HOWARTH R W, et al. Controlling Eutrophication: Nitrogen and Phosphorus[J]. Science, 2009, 323(5917):1014-1015.
- [9] 付春平,钟成华,邓春光.水体富营养化成因分析[J].重庆建筑大学学报,2005(1):128-131.
- [10] 张淑荣,陈利顶,傅伯杰.农业区非点源污染敏感性评价的一种方法[J].水土保持学报,2001(2):56-59.
- [11] 王沛芳,娄明月,钱进,等.农田退水净污湿地对污染物的净化效果及机理分析[J].水资源保护,2020,36(5):1-10.
- [12] 张晨,刘汉安,高学平,等.气候变化对于桥水库总磷与溶解氧的潜在影响分析[J].环境科学,2016,37(8):2932-2939.
- [13] RAMOS M C, MARTÍNEZ - CASASNOVAS J A. Nutrient losses from a vineyard soil in Northeastern Spain caused by an extraordinary rainfall event[J]. Catena, 2004, 55(1):79-90.
- [14] ERIK JEPPESEN, BRIAN KRONVANG, MARIANA MEERHOFF, et al. Climate change effects on runoff, catchment phosphorus loading and lake ecological state, and potential adaptations[J]. Journal of Environmental Quality, 2009, 38(5):1930-1941.
- [15] HUANG J, ARHONDITSIS G B, GAO J, et al. Towards the development of a modeling framework to track nitrogen export from lowland artificial watersheds (polders)[J]. Water Res, 2018(133):319-337.
- [16] 高永霞,宋玉芝,于江华,等.环太湖不同性质河流水体磷的时空分布特征[J].环境科学,2016,37(4):1404-1412.
- [17] 周怡彤,李清雪,王斌,等.太湖流域西北部地表水中农药的污染特征及生态风险评价[J].生态毒理学报,2020,15(3):171-183.
- [18] 王欢,袁旭音,陈海龙,等.太湖流域上游西苕溪支流的营养状态特征及成因分析[J].湖泊科学,2015,27(2):208-215.
- [19] 沈青云.平原河网区圩区的非点源污染产排特征分析[D].南京:南京师范大学,2016.
- [20] 吴桢,吴思枫,刘永,等.湖泊氮磷循环的关键过程与定量识别方法[J].北京大学学报(自然科学版),2018,54(1):218-228.
- [21] 曾巾,杨柳燕,肖琳,等.湖泊氮素生物地球化学循环及微生物的作用[J].湖泊科学,2007(4):382-389.
- [22] 路俊玲,陈慧萍,肖琳.温度和氨氮浓度对水体 N_2O 释放的影响[J].中国环境科学,2019,39(1):330-335.
- [23] S. R. MAGGIOTTO, J. A. WEBB, C. WAGNER - RIDDLE, et al. Nitrous and nitrogen oxide emissions from turfgrass receiving different forms of nitrogen fertilizer[J]. Journal of Environmental Quality, 2000, 29(2):621-630.