

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第38卷 第12期

Vol.38 No.12

2017

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次(卷终)

京津冀区域 PM_{2.5} 污染相互输送特征 王燕丽, 薛文博, 雷宇, 王金南, 武卫玲 (4897)

顾及尺度效应的多源遥感数据“源”“汇”景观的大气霾效应 许凯, 余添添, 孙姣姣, 袁兆祥, 秦昆 (4905)

基于多源数据的 PM_{2.5} 浓度时空分布预测与制图 肖璐, 郎艺超, 夏浪, 楼昭涵, 孙楠, 黄李童, George Christakos (4913)

华东区域 PM_{2.5} 变化背景下浙江省人口经济暴露水平评估 郁珍艳, 高大伟, 李正泉, 杨续超, 王阔, 马浩, 徐宏辉 (4924)

南京北郊不同大气污染程度下气溶胶化学组分特征 张程, 于兴娜, 安俊琳, 朱彬, 林梦凡 (4932)

菏泽市 PM_{2.5} 碳组分季节变化特征 刘泽珺, 吴建会, 张裕芬, 梁丹妮, 马威, 刘保双, 冯银厂, 张勤勤 (4943)

辽宁典型城市道路扬尘 PM₁₀ 中水溶性无机离子组分特征及来源解析 张伟, 姬亚芹, 张军, 张蕾, 王伟, 王士宝 (4951)

天津冬季一次重污染过程颗粒物中水溶性离子粒径分布特征 姚青, 刘子锐, 韩素芹, 蔡子颖, 刘敬乐, 黄小娟, 刘景云, 王跃思 (4958)

高原城市昆明公路隧道大气中 PM_{2.5} 理化特征分析 王成辉, 闫琨, 韩新宇, 施择, 毕丽玫, 向峰, 宁平, 史建武 (4968)

2015 年中国近地面臭氧浓度特征分析 段晓瞳, 曹念文, 王潇, 张玉欣, 梁静舒, 杨思鹏, 宋秀瑜 (4976)

不同 CDPF 贵金属负载量对柴油公交车 VOCs 组分排放影响 楼狄明, 张子骏, 刘继跃, 谭丕强, 胡志远 (4983)

ENSO 事件对上海降水中氢氧同位素变化的影响 董小芳, 杨华玮, 张杰, 朱志鹏, 杨言, 郑祥民, 周立旻 (4991)

我国南方两个典型森林生态系统的硫、氮和汞沉降量 程正霖, 罗遥, 张婷, 段雷 (5004)

新安江水库二氧化碳排放的时空变化特征 杨乐, 李贺鹏, 孙滨峰, 岳春雷 (5012)

三峡库区表层沉积物营养盐时空变化及评价 卓海华, 邱光胜, 翟婉盈, 刘云兵, 兰静 (5020)

三门峡水库水体中不同形态汞的分布特征 程柳, 麻冰涓, 周伟立, 王力, 耿音, 刘清伟, 毛宇翔 (5032)

太子河流域中游地区河流硝酸盐来源及迁移转化过程 李艳利, 孙伟, 杨梓睿 (5039)

典型入湖河流水体氮素变化特征及其对降雨的响应: 以太湖乌溪港为例 连慧妹, 刘宏斌, 李旭东, 宋挺, 刘申, 雷秋良, 任天志, 武淑霞, 李影 (5047)

缙云山常绿阔叶林湿沉降过程中不同空间层次水质变化特征 马明, 孙涛, 李定凯, 王定勇 (5056)

基于 MIKE11 模型提高污染河流水质改善效果的方法 熊鸿斌, 陈雪, 张斯思 (5063)

北京市地下水典型抗生素分布特征与潜在风险 陈卫平, 彭程伟, 杨阳, 吴玉梅 (5074)

深圳茅洲河下游柱状沉积物中碳氮同位素特征 凌郡鸿, 张依章, 王民浩, 周北海, 陶明, 陈惠明, 闫振广 (5081)

供水管网铁释放的影响因素相对重要性分析 刘莹, 于影, 石宝友, 刘书明, 吴雪 (5090)

低温高铁锰氨氮地下水生物同池净化 李冬, 曹瑞华, 杨航, 王刘煜, 张杰, 曾辉平 (5097)

臭氧预氧化强化混凝对二级出水中 DON 作用机制探讨 刘冰, 郑煜铭, 王大祥, 李清飞, 赵承美, 余国忠, 古励 (5106)

碱化过一硫酸盐降解水中环丙沙星 葛勇建, 蔡显威, 林翰, 徐梦苑, 沈一挺, 周丹, 钱梦洁, 邓靖 (5116)

MIL-88A@MIP 催化活化过硫酸盐靶向降解邻苯二甲酸二丁酯 王九妹, 关泽宇, 王金泉, 王艳, 马邕文, 闫志成, 张桂华 (5124)

常温下加装脱硫装置的 MCAnMBR 处理高硫酸盐有机废水试验 徐婷, 金艳青, 李勇 (5132)

载镁天然沸石复合材料对污水中氮磷的同步回收 成雪君, 王学江, 王浩, 张志昊, 赵建夫 (5139)

不同运行模式下改良型 CAST 工艺处理生活污水的除磷性能 马娟, 王谨, 俞小军, 周猛, 孙洪伟, 王磊 (5146)

ABR-MBR 工艺处理生活污水实现短程硝化 吕亮, 赵诗惠, 韦佳敏, 张敏, 尤雯, 吴鹏, 沈耀良 (5154)

海洋厌氧氨氧化菌处理含海水污水的基质抑制及其动力学特性 周同, 于德爽, 李津, 吴国栋, 王晓静 (5162)

游离氨 (FA) 对氨氧化过程氨逃逸影响试验 孙洪伟, 于雪, 尤永军, 彭永臻, 王淑莹 (5169)

西安市典型景观水体水质及反硝化细菌种群结构 康鹏亮, 黄廷林, 张海涵, 陈胜男, 商潘路, 冯稷, 贾宽宇 (5174)

厌氧氨氧化启动过程及微生物群落结构特征 汪瑶琪, 张敏, 姜滢, 徐乐中, 陈重军, 沈耀良 (5184)

SBAF 单级自养脱氮快速启动、稳定运行及微生物群落演化 岳秀, 刘竹寒, 于广平, 吉世明, 唐嘉丽 (5192)

活性污泥中硝化螺菌 (*Nitrospira*) 的富集及其动力学参数 姚倩, 彭党聪, 赵俏迪, 王博 (5201)

pH 值对零价铁自养反硝化过程的影响 张宁博, 李祥, 黄勇 (5208)

接种单一/混合污泥对厌氧氨氧化反应器快速启动的影响 张泽文, 李冬, 张杰, 郭跃洲, 李帅 (5215)

活性污泥法和生物膜法 SBR 工艺亚硝化启动和稳定运行性能对比 孙艺齐, 卞伟, 王盟, 赵青, 王文啸, 梁东博, 李军 (5222)

长期暴露下纳米 TiO₂ 对厌氧颗粒污泥体系稳定性的影响 李慧婷, 崔福义 (5229)

长三角典型城郊不同土地利用土壤抗生素组成及分布特征 赵方凯, 陈利顶, 杨磊, 方力, 孙龙, 李守娟 (5237)

不同有机肥中磷在土壤剖面中累积迁移特征与有效性差异 张田, 许浩, 茹淑华, 苏德纯 (5247)

有机磷酸酯在三峡库区土壤中污染特征 何明靖, 杨婷, 杨志豪, 魏世强 (5256)

上海某生活垃圾焚烧厂周边土壤重金属污染特征、来源分析及潜在生态风险评价 郭彦海, 孙许超, 张士兵, 余广杰, 唐正, 刘振涛, 薛昱, 高品 (5262)

大庆市不同环境介质中多环芳烃污染特征对比及来源解析 宋宁宁, 冯嘉申, 于洋, 李迎霞 (5272)

工业区户外儿童游乐场地表灰尘重金属污染的磁学响应 杨孟, 李慧明, 李凤英, 王金花, 刁一伟, 钱新, 杨兆平, 王成 (5282)

上海市郊工业区附近蔬菜中重金属分布及其健康风险 周雅, 毕春娟, 周泉潇, 张焕焕, 陈振楼, 包新一 (5292)

基施硅肥对土壤镉生物有效性及水稻镉累积效应的影响 高子翔, 周航, 杨文毅, 辜娇峰, 陈立伟, 杜文琪, 徐珺, 廖柏寒 (5299)

水稻对气态单质汞的吸收与挥发 尚帅, 田珮, 蒋煜, 武婧轩, 姜珊, 邓泓 (5308)

麦田 O₃ 浓度的长期变化及其对冬小麦干物质和产量损失的估算 赵辉, 郑有飞, 李硕, 徐静馨, 曹嘉晨, 魏莉, 关清 (5315)

缓控释肥侧深施对稻田氨挥发排放的控制效果 侯朋福, 薛利祥, 俞映惊, 薛利红, 范立慧, 杨林章 (5326)

生物炭和有机肥对华北农田盐碱土 N₂O 排放的影响 石玉龙, 刘杏认, 高佩玲, 张晴雯, 张爱平, 杨正礼 (5333)

成都平原不同类型沟渠 CO₂、CH₄ 和 N₂O 排放通量特征及其影响因素 冯香荣, 邓欧平, 邓良基, 吴铭, 姚昆, 杨泽鹏 (5344)

河流 CO₂ 与 CH₄ 排放研究进展 王晓峰, 袁兴中, 陈槐, 何奕忻, 罗珍, 刘恋, 何宗茂 (5352)

《环境科学》第 38 卷(2017 年) 总目录 (5367)

《环境科学》征稿简则(4950) 《环境科学》征订启事(5031) 信息(4923, 5105, 5161)

典型入湖河流水体氮素变化特征及其对降雨的响应： 以太湖乌溪港为例

连慧妹¹, 刘宏斌¹, 李旭东², 宋挺^{3,4}, 刘申^{1,5}, 雷秋良^{1*}, 任天志⁶, 武淑霞¹, 李影¹

(1. 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 农业部面源污染控制重点实验室, 北京 100081; 2. 上海交通大学农业与生物学院, 上海 200240; 3. 南京信息工程大学环境科学与工程学院, 南京 210044; 4. 无锡市环境监测中心站, 无锡 214121; 5. 航天信息股份有限公司, 北京 100195; 6. 农业部环境保护科研监测所, 天津 300191)

摘要: 以 2010~2015 年太湖主要入湖港口乌溪港的水质监测数据为基础, 结合当地降雨资料, 分析了乌溪港水体中氮素的时间变化特征及其对降雨的响应。结果表明, 乌溪港水体污染情况严峻, 总氮年均值在 4.41~5.92 mg·L⁻¹ 之间, 远超地表水环境质量标准 V 类限值 2 mg·L⁻¹, 氨氮在 1.09~1.72 mg·L⁻¹ 之间。总氮和氨氮浓度呈现明显的季节性变化规律, 春冬季节浓度高, 夏秋季节浓度较低。2015、2011、2012 年总氮浓度均值分别为 5.92、5.47、5.82 mg·L⁻¹, 显著高于 2013 年 4.45 mg·L⁻¹ 和 2014 年 4.41 mg·L⁻¹, 2011 年氨氮浓度均值为 1.72 mg·L⁻¹, 显著高于 2013 年 1.19 mg·L⁻¹ 和 2015 年 1.09 mg·L⁻¹。随着降雨强度的增加, 总氮浓度呈现先降低后升高最后又降低的趋势, 氨氮浓度则先升高后逐渐降低。此外, 氮素浓度呈现非汛期高于汛期的特征。

关键词: 入湖河流; 总氮; 氨氮; 时间变化特征; 降雨

中图分类号: X52 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2017)12-5047-09 DOI: 10.13227/j.hjxx.201704185

Characteristics of Nitrogen Variation and Its Response to Rainfall: A Case Study in Wuxi Port at Taihu Lake Basin

LIAN Hui-shu¹, LIU Hong-bin¹, LI Xu-dong², SONG Ting^{3,4}, LIU Shen^{1,5}, LEI Qiu-liang^{1*}, REN Tian-zhi⁶, WU Shu-xia¹, LI Ying¹

(1. Key Laboratory of Nonpoint Source Pollution Control, Ministry of Agriculture, Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; 2. School of Agriculture and Biology, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China; 3. School of Environmental Science and Engineering, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China; 4. Wuxi Environmental Monitoring Centre, Wuxi 214121, China; 5. Aisino Corporation Inc., Beijing 100195, China; 6. Agro-Environmental Protection Institute, Ministry of Agriculture, Tianjin 300191, China)

Abstract: Based on monitoring data of the water quality in the Wuxi port estuary of Taihu Lake from 2010 to 2015, we studied the temporal variation characteristics of nitrogen and its response to rainfall in Wuxi port. The results showed that the pollution level in Wuxi port is serious, with an average annual total nitrogen (TN) concentration of (4.41-5.92 mg·L⁻¹), worse than the water environment quality grade V standard (2 mg·L⁻¹). The ammonia nitrogen (NH₄⁺-N) concentration was 1.09-1.72 mg·L⁻¹. The concentrations of TN and NH₄⁺-N showed obvious seasonal variations, with the concentration of TN and NH₄⁺-N in summer and autumn higher than in spring and winter. The concentration of TN in 2015, 2012, and 2011 was 5.92, 5.82, and 5.47 mg·L⁻¹, respectively, which was significantly higher than in 2013 and 2014. The concentration of NH₄⁺-N in 2011 (1.72 mg·L⁻¹) was higher than in 2013 and 2015. With the increase of rainfall intensity, the TN concentration showed an increase after the first downward trend and then a decrease, while the NH₄⁺-N concentration increased first and then decreased. In addition, the nitrogen concentration in the non-flood season was higher than in the flood season.

Key words: inflow water; total nitrogen; ammonia nitrogen; temporal variability; rainfall

近年来,经济的快速发展与环境之间的矛盾日益严重,太湖流域的水环境问题已经引起了全社会的广泛关注。环湖河流污染物的输入是太湖污染物主要来源,也是流域点源与面源污染的综合体现^[1-4]。太湖流域河道众多,流域内河道总长 12 万 km,河网密度 3.2 km·km⁻²,与湖体相通的河(港)

达 224 条^[2]。其中,江苏省 15 条主要环湖河流污染

收稿日期: 2017-04-19; 修订日期: 2017-06-12

基金项目: 国家自然科学基金项目(31572208); 公益性行业(农业)科研专项(201303089); 江苏省自然科学基金项目(BK20150975)

作者简介: 连慧妹(1993~),女,硕士研究生,主要研究方向为农业面源污染防治, E-mail: lianhuishu@163.com

* 通信作者, E-mail: leiqiuliang@caas.cn

负荷的贡献量占入湖总负荷量的 80% 以上^[5]。流域点源污染排放和面源污染随降雨径流的汇入是河道中污染物的主要来源^[6]。因此,对入湖河流水质的控制是防治太湖污染的重点^[7]。改善太湖水质需要削减上游河流进入太湖的污染物总量^[8]。

水体营养物质的污染程度常用氮素浓度的高低来衡量,氮素包括各形态无机氮和有机氮的总量^[9],其中,铵态氮为影响水质的主要氮素形态^[10~12]。氮素进入水体有两种方式,一种是人为排放,另一种是随自然降雨径流汇入河道。降雨对河流中的营养物动态有很大的影响,它既是驱动因子,又是其来源。强降雨可以通过对农田土壤与河道侵蚀,使污染物随径流汇入水体。很多学者探究了降雨对污染物释放的影响。研究表明,在自然降雨过程中,初期污染物浓度上升,中期较为平稳,在后期浓度下降^[6];随着降雨强度的增加,氮素流失呈指数增长^[13];基于模拟降雨的试验结果显示,在不同的降雨强度下,农田产生的径流中的总氮和氨氮的浓度差异显著^[14~17]。此外,水体中的氮素浓度具有季节性差异,在不同流域的研究表明,非汛期河流断面氮素浓度明显高于汛期的含量^[18~20],地表水质在雨季主要受工业类污染的影响,旱季主要受面源污染的影响^[8]。很多学者在自然降雨和模拟降雨条件下做了农田径流和流域出口水质的变化特征研究^[21~24],但是,基于长期监测的水质对自然降雨事件的响应少有研究。

太湖流域江苏宜兴地区河道的入湖水量占入湖

径流总量的 51.25%^[25]。乌溪港河是宜兴市境内重要的入太湖河流^[26]。本文基于乌溪港多年水质监测数据,采用统计学方法研究氮素的时间变化特征,同时结合当地的降雨资料,研究自然降雨作为驱动力对水体中氮素的影响。本研究对了解太湖流域的水污染现状和把握入湖河流污染物的关键时期具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

本文选择太湖湖西区入湖港口乌溪港(图 1)为研究对象,乌溪港河位于江苏宜兴市,地处太湖湖西重污染控制区,总长度 3.5 km^[27],起源于宜兴竹海,流经湖汶和丁蜀镇,联通周围密集的河网汇入太湖,是太湖的重要入湖河道^[28]。平均河面宽 40 m,河底宽 20 m,年径流量约 1.736 亿 m³^[29]。研究区属于北亚热带季风区气候,温暖湿润,春夏之交有明显的“梅雨”期,夏季受热带风暴和台风的影响,降水量大,易发洪水灾害。年均气温为 15.3 ~ 16.2℃,多年平均降雨量为 1494 mm,汛期(6~9)月的降水量占全年的 60% 左右。

乌溪港水体中的污染物来源于上游湖汶镇和丁蜀镇,上游平原河网区开发利用强度大,城镇化程度高,农业所占比重相对较小。污染源复杂,包括工业源、生活源、畜禽养殖源、种植源、以及污水处理厂等,随着工农业的飞速发展,排入水体中的污染物日益增加,水污染情况十分严峻。

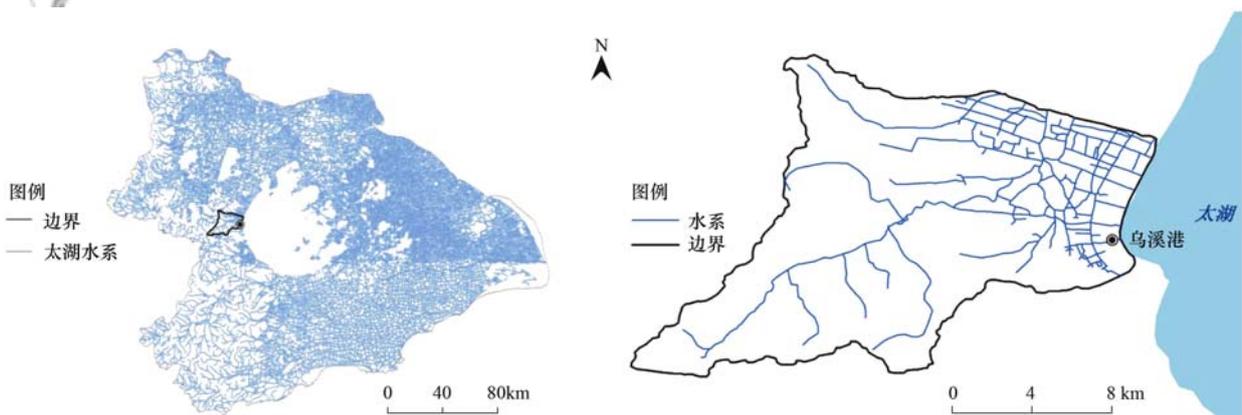


图 1 乌溪港监测点位置示意

Fig. 1 Map indicating the monitoring point in Wuxi port in Taihu Lake Basin

1.2 水样采集与分析

2010~2015 连续 6 a 在乌溪港设置自动监测站,采用日本岛津 TNP-4110 和 NHN-4210 分析仪,实现总氮和氨氮的在线监测,总氮的测定原理是碱

性过硫酸钾紫外分光光度法,氨氮的测定原理是水杨酸分光光度法。测定了逐日水质数据,监测频率为 4 h 一次。本文重点分析了总氮和氨氮浓度在年内、年际、汛期、非汛期的变化规律及其对降雨的

响应. 监测期间的逐日降雨数据来自中国气象局, 选择了离监测点最近的宜兴气象站.

1.3 数据处理与统计分析

使用 Microsoft Excel 2010 进行相关数据计算, 采用 Origin 9.1 绘制箱线图, SPSS17.0 进行年际间差异显著性分析, 用 ArcGIS 10.1 进行研究区地图的绘制.

将日降雨量按照气象局的降雨等级划分标准, 分为 6 级. 小雨: 24 h 降雨量小于 10 mm, 中雨: 24 h 降雨量 10 ~ 25 mm, 大雨: 24 h 降雨量 25 ~ 50 mm, 暴雨: 24 h 降雨量 50 ~ 100 mm, 大暴雨: 24 h 降雨量 100 ~ 250 mm, 特大暴雨: 24 h 降雨量在 250 mm 以上^[30]. 氮素浓度与降雨的响应关系利用不同降雨强度下的氮素浓度做散点图, 然后对点进行回归分析, 拟合曲线.

2 结果与分析

2.1 乌溪港水体中氮素浓度的年内变化趋势

由图 2 可以看出, 2010 年总氮浓度介于 2.52 ~ 7.76 mg·L⁻¹, 平均值为 5.12 mg·L⁻¹, 总氮浓度在 1 ~ 6 月波动较小, 在 10 月有明显的降低, 11、12 月浓度逐渐升高; 氨氮浓度在 0.29 ~ 4.05 mg·L⁻¹ 之间, 平均为 1.46 mg·L⁻¹. 氨氮年内变化趋势明显, 如图 2(b1), 春冬季节浓度较高, 夏秋季节浓度较低, 在汛期 7 月浓度达到最低, 同时 7 月是降雨量最大的月. 2011 年总氮浓度介于 1.82 ~ 12.55 mg·L⁻¹, 平均为 5.47 mg·L⁻¹, 总氮浓度春冬季节较高, 夏秋季节有降低的趋势, 如图 2(a2), 此外, 9 月总氮浓度较高; 氨氮浓度的变化范围是 0.19 ~ 7.21 mg·L⁻¹, 平均为 1.72 mg·L⁻¹, 图 2(b2) 可以看出氨氮浓度在前半年较高, 后半年整体较低, 季节性变化规律不明显. 2012 年总氮浓度在 1.91 ~ 12.98 mg·L⁻¹ 之间, 平均为 5.82 mg·L⁻¹, 图 2(a3) 可以看出, 季节性差异不明显, 4 月浓度达到最高, 10 月最低; 氨氮浓度在 0.24 ~ 4.85 mg·L⁻¹, 平均为 1.34 mg·L⁻¹, 春冬季节浓度较高, 夏秋季节浓度较低, 秋季 3 个月的浓度达到年内最低, 1 月浓度最高, 如图 2(b3). 2013 年总氮浓度在 1.11 ~ 15.99 mg·L⁻¹ 之间, 平均为 4.45 mg·L⁻¹, 图 2(a4) 可以看出, 季节性变化规律明显, 春季浓度最高, 夏秋季节浓度逐渐降低; 氨氮浓度在 0.14 ~ 4.72 mg·L⁻¹ 之间, 平均为 1.19 mg·L⁻¹, 图 2(b4) 显示, 1 ~ 6 月变化不明显, 从 7 月开始浓度逐渐降低, 9 月达到最低, 后逐渐升高.

2014 年总氮在 0.48 ~ 9.92 mg·L⁻¹ 之间, 平均为 4.41 mg·L⁻¹, 氨氮在 0.20 ~ 5.60 mg·L⁻¹ 之间, 平均为 1.28 mg·L⁻¹, 总氮和氨氮的变化规律一致, 春冬季浓度较高, 夏秋季较低, 6 月浓度有明显的上升趋势, 10 月达到年内最低, 见图 2(a5)、2(b5). 2015 年总氮浓度的变化范围是 1.71 ~ 14.53 mg·L⁻¹, 平均为 5.92 mg·L⁻¹, 春冬季浓度较高, 夏秋季较低, 7 月浓度较高, 如图 2(a6); 氨氮浓度在 0.18 ~ 5.46 mg·L⁻¹ 之间, 平均为 1.09 mg·L⁻¹, 图 2(b6) 显示春季浓度显著高于其他 3 个季节. 综上, 乌溪港水体氮污染情况十分严峻, 按地表水质量标准划分总氮 6 年均值都属于劣 V 类水, 与总氮相比, 氨氮的污染程度较轻. 根据《国家地表水环境质量标准》(GB 3838-2002) 将 6 a 的逐日总氮数据进行划分, 发现 2010 年全年乌溪港水质都属于劣 V 类水. 2011 年有 5 d 是 V 类水, 其余均是劣 V 类. 2012 年有 1 d 是 V 类水, 其余全是劣 V 类. 2013 年有 5 d 是 IV 类水, 17 d 是 V 类水, 其余全是劣 V 类. 2014 年有 1 d 是 II 类水, 3 d 是 IV 类水, 2 d 是 V 类水, 其余全是劣 V 类水. 2015 年有 3 d 是 V 类水, 其余全是劣 V 类水.

2.2 乌溪港水体中氮素浓度的年内和年际间差异

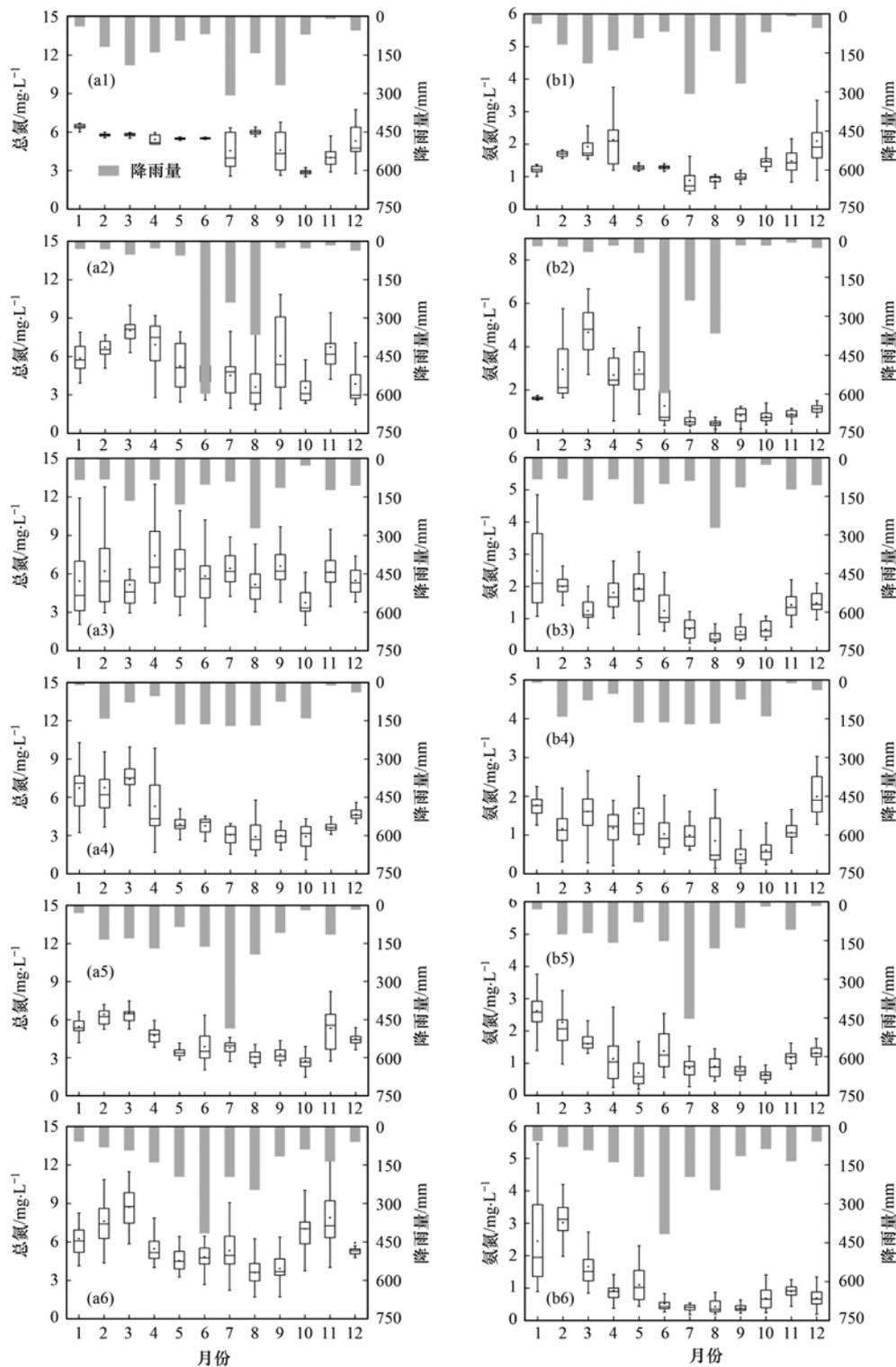
从图 3 可以看出总氮浓度在 3 月达到年内最高, 尤其是 2015 年 3 月总氮浓度为 8.72 mg·L⁻¹, 远超过地表水 V 类水标准 2.0 mg·L⁻¹. 5 ~ 10 月总氮浓度处于较低水平, 其中 10 月达到最低, 2014 年 10 月总氮浓度最低为 2.75 mg·L⁻¹, 但是也超过了地表水 V 类标准. 乌溪港作为太湖流域的主要入湖港口, 其总氮污染情况不容乐观. 氨氮浓度的年内变化趋势与总氮有所不同, 氨氮浓度在 2 月和 3 月达到年内最高, 7 ~ 9 月这 3 个月的氨氮浓度较低, 2011 年 3 月氨氮浓度达到最高 4.70 mg·L⁻¹, 远超过地表水环境质量标准 V 类水, 并且远高于其他年份.

由图 4 可以看出, 2014 年总氮浓度最低为 4.41 mg·L⁻¹, 2015 年最高为 5.92 mg·L⁻¹. 2015、2011、2012 年总氮浓度均值分别为 5.92、5.47、5.82 mg·L⁻¹, 显著高于 2013 年 4.45 mg·L⁻¹ 和 2014 年 4.41 mg·L⁻¹, 2011 年氨氮浓度均值为 1.72 mg·L⁻¹, 显著高于 2013 年 1.19 mg·L⁻¹ 和 2015 年 1.09 mg·L⁻¹.

2.3 氮素浓度对降雨事件的响应

2.3.1 不同降雨强度下总氮浓度的变化情况

由不同降雨事件下总氮浓度的散点分布图(图



(a1) ~ (a6) 表示 2010 ~ 2015 年总氮变化趋势, (b1) ~ (b6) 表示 2010 ~ 2015 年氨氮变化趋势

图 2 乌溪港水体中总氮和氨氮浓度的不同年份变化特征

Fig. 2 Temporal variation of TN and $\text{NH}_4^+\text{-N}$ in Wuxi port in different years

5), 可以看出, 在小雨事件下, 散点的分布在降雨量相同的不同降雨事件下, 在小雨事件下, 总氮浓度在 $1.42 \sim 12.97 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 之间广泛分布, 平均值为 $5.36 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$; 中雨事件时, 散点的分布相比于小雨

事件更为集中, 总氮浓度在 $1.95 \sim 10.93 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 之间分布, 平均值为 $5.12 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 小于小雨事件的平均浓度. 大雨、暴雨、大暴雨事件发生的次数较少, 多次大雨事件乌溪港总氮的浓度变化范围是

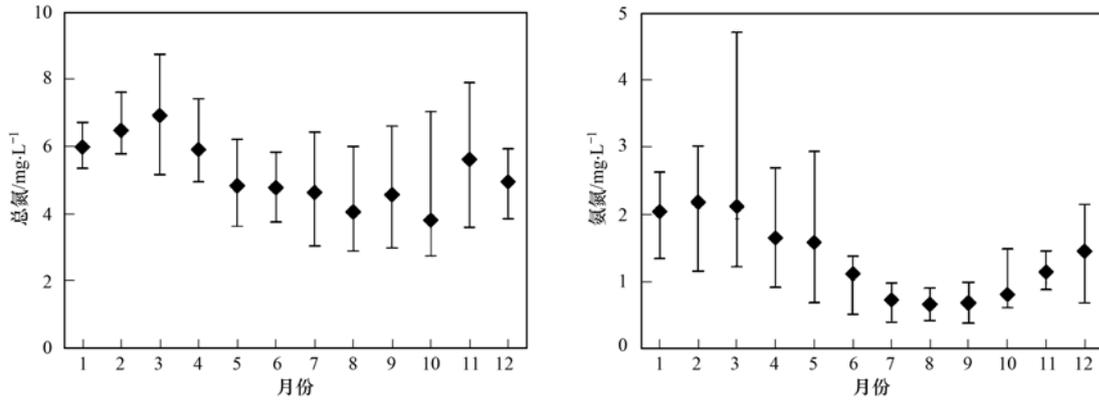


图3 总氮和氨氮浓度的年内变化趋势

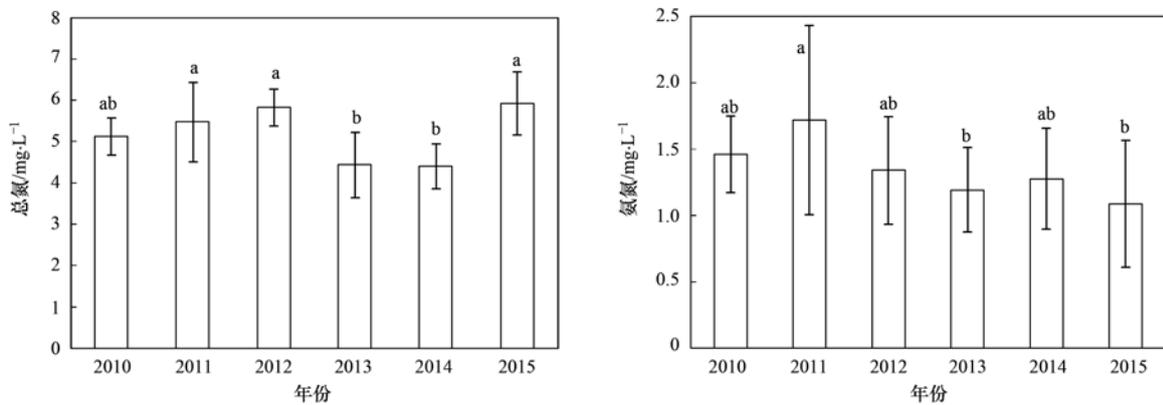
Fig. 3 Annual variability of TN and NH_4^+ -N concentration in Wuxi port不同小写字母表示年际间差异显著 ($P < 0.05$)

图4 总氮和氨氮浓度的年际差异

Fig. 4 Interannual variability of TN and NH_4^+ -N concentration in Wuxi port

$2.93 \sim 8.48 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 总氮浓度分布较为集中, 平均值为 $5.11 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 略小于中雨事件; 在暴雨日降雨量在 $50 \sim 100 \text{ mm}$, 我们可以看到随着降雨量的增大趋势线呈现上升状态, 总氮浓度范围是 $2.51 \sim 8.31 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 平均值为 $5.47 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 是所有降雨事件中最高; 在大暴雨事件下, 总氮 $2.59 \sim 4.75 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 平均值为 $3.65 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 总氮浓度是所有降雨事件中最低的。

在小雨事件下, 图6散点的分布可以看出氨氮浓度在 $2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 以下的点的密度较大, 浓度在 $2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 以上的点较为稀疏, 氨氮的浓度范围在 $0.19 \sim 7.21 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 之间, 平均值为 $1.44 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$; 中雨事件时, 散点的分布相比于小雨事件更为分散, 氨氮浓度在 $0.21 \sim 4.05 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 之间, 平均值为 $1.54 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 大于小雨事件的平均浓度。大雨事件乌溪港氨氮的浓度变化范围是 $0.29 \sim 3.00 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 平均值为 $1.32 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 浓度低于小雨和中雨事件; 在暴雨事件下, 氨氮浓度范围是 $0.37 \sim 2.34 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 平均值为 $1.02 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 浓度继续降

低; 在大暴雨事件下, 随着降雨量的增加, 氨氮浓度有先降低后升高的趋势, 其浓度范围是 $0.59 \sim 1.03 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 平均值为 $0.81 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 浓度达到最低。

2.3.2 汛期非汛期氮素的变化

图7表明, 在监测期间, 除2010年和2012年总氮浓度在汛期和非汛期没有明显差异外, 其余4年, 非汛期浓度要远高于汛期。氨氮连续6年均呈现非汛期浓度高于汛期的特征, 在2011年非汛期氨氮浓度异常高。2015年汛期氨氮浓度明显低于其余年份。

3 讨论

通过对乌溪港断面连续6a的氮素监测, 可以看出太湖入湖河道的水体营养盐浓度很高, 水质一直处于劣V类, 直接影响太湖水体中的营养盐浓度, 致使太湖存在蓝藻暴发的危险, 严重影响太湖流域的水环境安全。没有人类活动影响的河流, 受自然因素的影响, 水中的化学物质随时间和空间而

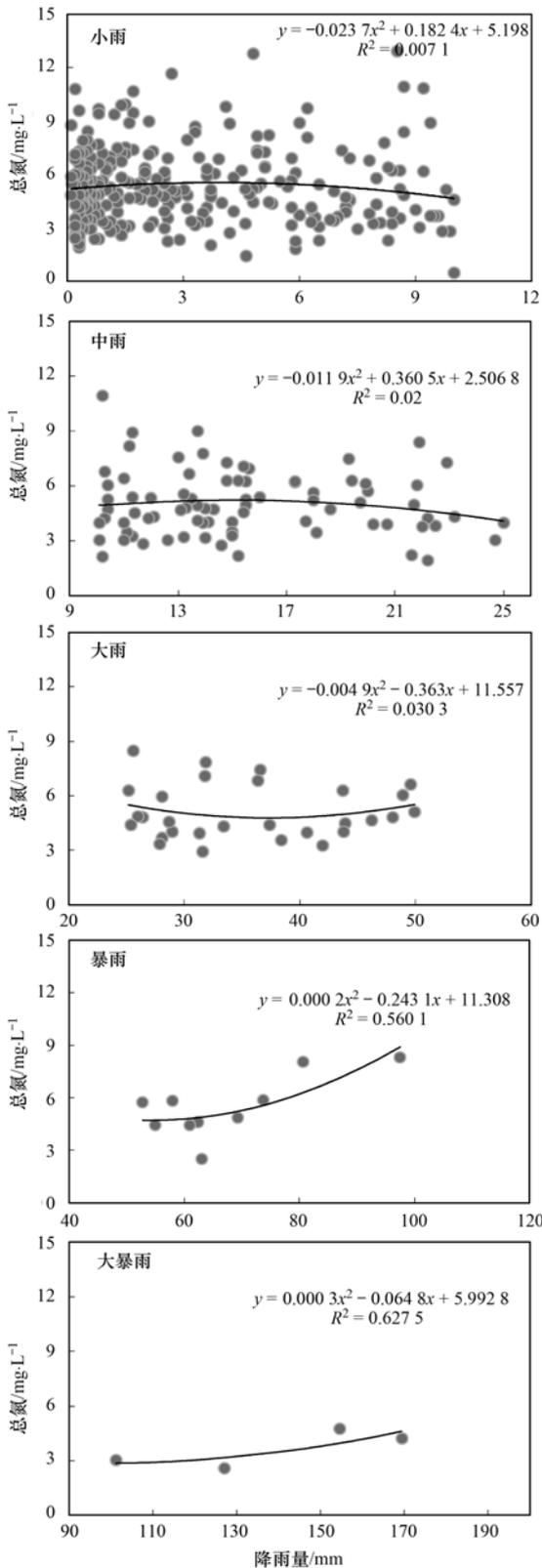


图 5 不同降雨强度下总氮浓度变化趋势

Fig. 5 Trend of TN concentration under different rainfall intensities

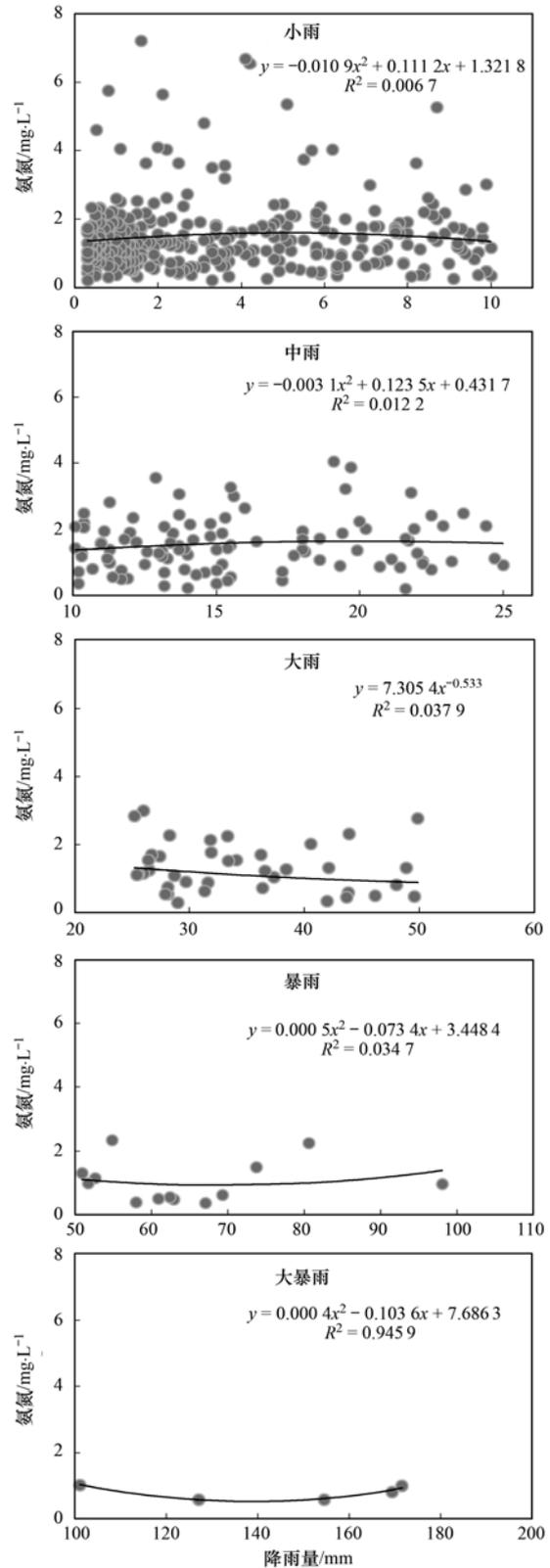


图 6 不同降雨强度下氨氮浓度变化趋势

Fig. 6 Trend of NH₄⁺-N concentration under different rainfall intensities

变化^[31]. 人类活动如工业化、城镇化等会改变污染物和 水体迁移的过程, 导致水生态环境恶化^[24]. 营养盐进入水体受诸多因素的影响, 包括集水区养分

含量、植物吸收能力、土壤吸附能力、土地利用、人口密度、坡度、养分投入、降雨、干湿沉降等^[32].

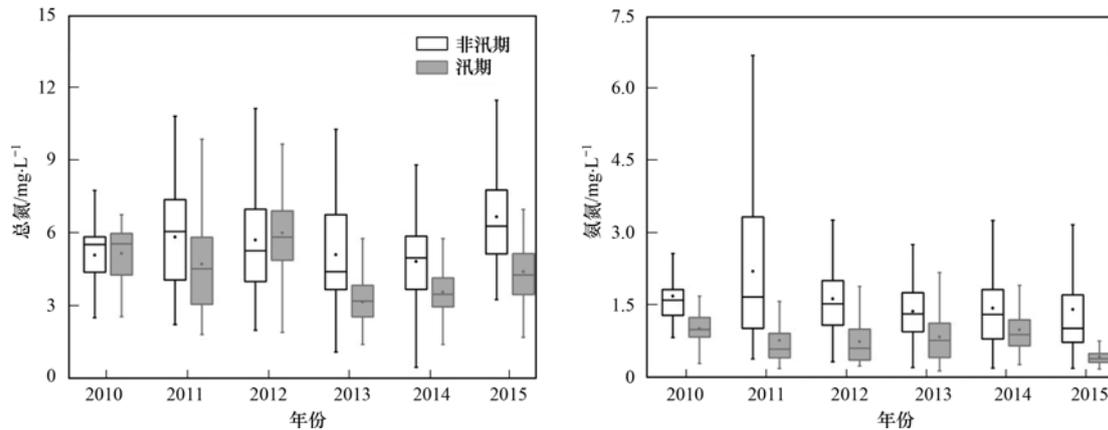


图7 总氮和氨氮浓度在汛期、非汛期变化特征

Fig. 7 Trends of TN and $\text{NH}_4^+\text{-N}$ during the flood season and non-flood season over six years

港口氮素逐月变化特征明显,降雨量小的月氮素浓度明显高于降雨量大的月,说明上游工业、城市、生活排放的污染物对乌溪港水质影响较大,有关于太湖上游宜溧河流域的研究表明,种植业和畜禽养殖业是氮污染的主要来源,贡献比例分别为55.9%和34.4%^[33],这与乌溪港上游流域的特征不同,乌溪港流域上游河网区开发利用强度大,城镇化程度高,人口密度大,生活污染所占的比例较高.此外,历年5月和10月水体中污染物浓度较低,这主要是因为乌溪港沿岸的农田主要为稻麦轮作,这两个月恰好是作物种植的交替期,来自农田的营养盐排放量减少.

降雨具有侵蚀和稀释两种作用,侵蚀作用会使污染物离开其原位置随径流汇入水体,稀释作用会降低水体中污染物的浓度,这两种作用力的大小不同,会造成水体中污染物浓度的升高或降低.在降雨量较小时,未产生地表径流,雨水进入水体后产生稀释作用使总氮浓度降低;在降雨量较大时,因产生地表径流,携带了来自农田、养殖、生活等来源的污染物进入水体.当侵蚀作用大于稀释作用时,水体中的氮素浓度升高.有研究表明,在降雨量很大时,降雨初期侵蚀作用占主导,随着降雨的继续,稀释作用占主导^[6].有学者开展的模拟降雨试验结果表明,在降雨强度较小时,开始时氮浓度较高,后逐渐降低,而在暴雨时,氮浓度先快速降低而后又缓慢上升^[21,34].本研究中总氮浓度在小雨事件下浓度较高,在中雨和大雨事件时浓度明显降低,说明降雨对河流中的总氮起到了稀释的作用,在暴雨事件下,总氮浓度明显高于大雨事件,说明暴雨事件下,汇入水体中的污染物较多,侵蚀作用削弱了降雨的稀释作用.乌溪港水体中氮素浓度非

汛期高于汛期,两个时期氮素浓度的差异也反映出了污染来源,非汛期自然径流量少但污染物浓度高说明城镇生活污水、工业废水以及畜禽养殖是河流中氮的主要来源.这与乌溪港上游两个镇人口密度高达1220.27人· km^{-2} ,经济发达,以工业为主的背景吻合.而在水土流失比较严重的流域,降雨过程中河流氮素主要来源于农田^[35].此外,有研究还表明,城市污水处理厂、工业废水处理站及湿地等生态工程的氮处理效率由于冬春季节温度降低而下降,导致排放水体中的氮素浓度升高,使非汛期河流水质下降^[36].此外,还有研究表明,氮素浓度还与水体中藻类生长有关,夏季藻类生长旺盛,会吸收较多的氮磷养分,因此也会一定程度上减小汛期氮素的浓度^[37].

4 结论

(1)6 a 水质监测结果显示,乌溪港水体污染情况严峻,劣V类水质的时期占90%以上.总氮年均值在4.41~5.92 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 之间,氨氮为1.09~1.72 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$.总氮和氨氮浓度在时间上呈现明显的季节性变化规律,春冬季节浓度高,夏秋季节浓度较低.

(2)在不同的降雨强度下,污染物浓度的响应不同.在小雨和中雨强度下,氮素浓度较低;在中雨和大雨强度下,氮素浓度升高;在暴雨和大暴雨强度下,氮素浓度较低.降雨带来的侵蚀作用和稀释作用共同影响水体的氮素浓度.此外,氮素浓度在非汛期较高而在汛期较低.

参考文献:

- [1] 牛勇. 太湖入湖河流污染特征及面源污染负荷研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2013.
Niu Y. Study on inflow rivers pollution characteristics, estimation

- of non-point source pollution in Lake Taihu watershed [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2013.
- [2] 卢少勇, 远野, 金相灿, 等. 7 条环太湖河流沉积物氮含量沿程分布规律[J]. 环境科学, 2012, **33**(5): 1497-1502.
Lu S Y, Yuan Y, Jin X C, *et al.* Speciation distribution of nitrogen in sediments of 7 rivers around Taihu Lake [J]. Environmental Science, 2012, **33**(5): 1497-1502.
- [3] 卢少勇, 焦伟, 王强, 等. 环太湖河流水质时空分布特征[J]. 环境科学研究, 2011, **24**(11): 1220-1225.
Lu S Y, Jiao W, Wang Q, *et al.* Spatial-temporal distribution characteristics of water quality of rivers around Taihu Lake [J]. Research of Environmental Sciences, 2011, **24**(11): 1220-1225.
- [4] 陈雷, 远野, 卢少勇, 等. 环太湖主要河流入湖河口表层沉积物污染特征研究[J]. 中国农学通报, 2011, **27**(1): 294-299.
Chen L, Yuan Y, Lu S Y, *et al.* The analysis of pollutant characteristics in surface sediments of the stream inlets and outlets of the main rivers around Taihu Lake [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2011, **27**(1): 294-299.
- [5] 孙卫红, 程炜, 崔云霞, 等. 太湖流域主要入湖河流水环境综合整治[J]. 中国资源综合利用, 2009, **27**(11): 39-42.
Sun W H, Cheng W, Cui Y X, *et al.* Overall treatment of water environment for inflow rivers of Taihu Lake [J]. China Resources Comprehensive Utilization, 2009, **27**(11): 39-42.
- [6] 涂安国, 尹炜, 陈德强, 等. 丹江口库区典型小流域地表径流氮素动态变化[J]. 长江流域资源与环境, 2010, **19**(8): 926-932.
- [7] 易娟, 徐枫, 高怡, 等. 2007 年以来环太湖 22 条主要河流水质变化及其对太湖的影响[J]. 湖泊科学, 2016, **28**(6): 1167-1174.
Yi J, Xu F, Gao Y, *et al.* Variations of water quality of the major 22 inflow rivers since 2007 and impacts on Lake Taihu [J]. Journal of Lake Sciences, 2016, **28**(6): 1167-1174.
- [8] 冯帅, 李叙勇, 邓建才. 太湖流域上游河网污染物降解系数研究[J]. 环境科学学报, 2016, **36**(9): 3127-3136.
Feng S, Li X Y, Deng J C. A study on degradation coefficients of pollutants in the upstream river network of the Lake Taihu basin [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2016, **36**(9): 3127-3136.
- [9] 翟子宁, 王克勤, 苏备, 等. 抚仙湖流域尖山河入湖河流水质变化研究[J]. 生态科学, 2015, **34**(2): 129-135.
Zhai Z N, Wang K Q, Su B, *et al.* Study on water quality change in the Jianshan River of Fuxian Lake watershed [J]. Ecological Science, 2015, **34**(2): 129-135.
- [10] 朱红霞, 陈效民, 方堃. 太湖地区旱季、雨季水体污染影响因素分析[J]. 农业环境科学学报, 2008, **27**(6): 2396-2400.
Zhu H X, Chen X M, Fang K. Water pollution impact analysis in the dry season and the rainy season of Taihu Lake Region [J]. Journal of Agro-Environment Science, 2008, **27**(6): 2396-2400.
- [11] 段圣辉. 海河流域典型河流滏阳河中氮赋存形态及氨氮转化特征研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2015.
Duan S H. The research of the characteristics of nitrogen forms and ammonia transformation of Fuyang River in Haihe Basin [D]. Hefei: University of Science and Technology of China, 2015.
- [12] Jordan T E, Correll D L, Weller D E. Relating nutrient discharges from watersheds to land use and streamflow variability [J]. Water Resources Research, 1997, **33**(11): 2579-2590.
- [13] Zhao X, Christianson L E, Harne I D, *et al.* Assessment of drainage nitrogen losses on a yield-scaled basis [J]. Field Crops Research, 2016, **199**: 156-166.
- [14] 彭圆圆, 李占斌, 李鹏. 模拟降雨条件下丹江鸚鵡沟小流域坡面径流氮素流失特征[J]. 水土保持学报, 2012, **26**(2): 1-5.
Peng Y Y, Li Z B, Li P. Slope of nitrogen loss in the rocky mountain area of parrot ditch under the condition of rainfall simulation [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2012, **26**(2): 1-5.
- [15] 刘泉, 李占斌, 李鹏, 等. 模拟降雨条件下坡地氮素流失特征试验分析[J]. 水土保持学报, 2011, **25**(1): 6-10.
Li Q, Li Z B, Li P, *et al.* Analysis of the nitrogen loss character on the slopes under simulating rainfall condition [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2011, **25**(1): 6-10.
- [16] 张亚丽, 张兴昌, 邵明安, 等. 降雨强度对黄土坡面矿质氮素流失的影响[J]. 农业工程学报, 2004, **20**(3): 55-58.
Zhang Y L, Zhang X C, Shao M A, *et al.* Impact of rainfall intensity on soil mineral nitrogen loss by runoff on loess slope [J]. Transactions of the CSAE, 2004, **20**(3): 55-58.
- [17] Liu R M, Wang J W, Shi J H, *et al.* Runoff characteristics and nutrient loss mechanism from plain farmland under simulated rainfall conditions [J]. Science of the Total Environment, 2014, **468-469**: 1069-1077.
- [18] 王翊晨, 姚治君, 刘兆飞, 等. 太湖流域宜溧河与西苕溪水质对比分析[J]. 地理科学进展, 2011, **30**(7): 853-860.
Wang Y C, Yao Z J, Liu Z F, *et al.* Comparison analysis of water quality between Yili River and Xitiao River in Taihu Basin [J]. Progress in Geography, 2011, **30**(7): 853-860.
- [19] 高永霞, 蔡琳琳, 赵林林, 等. 丰水期环太湖河流与湖区水质比较研究[J]. 环境科学, 2011, **32**(10): 2840-2848.
Gao Y X, Cai L L, Zhao L L, *et al.* Water quality comparison between Lake Taihu and contribute river during high water-level period [J]. Environmental Science, 2011, **32**(10): 2840-2848.
- [20] 杨晓英, 罗兴章, 郑正, 等. 平水期和丰水期殷村港污染物浓度时空变异比较研究[J]. 环境科学, 2012, **33**(9): 3051-3056.
Yang X Y, Luo X Z, Zheng Z, *et al.* Explore the spatial and temporal patterns of water pollution in the Yincungang Canal of the Lake Taihu Basin, China [J]. Environmental Science, 2012, **33**(9): 3051-3056.
- [21] 杨丽霞, 杨桂山, 苑韶峰, 等. 不同雨强条件下太湖流域典型蔬菜地土壤磷素的径流特征[J]. 环境科学, 2007, **28**(8): 1763-1769.
Yang L X, Yang G S, Yuan S F, *et al.* Characteristics of soil phosphorus runoff under different rainfall intensities in the typical vegetable plot of Taihu Basin [J]. Environmental Science, 2007, **28**(8): 1763-1769.
- [22] Welter J R, Fisher S G. The influence of storm characteristics on hydrological connectivity in intermittent channel networks: implications for nitrogen transport and denitrification [J]. Freshwater Biology, 2016, **61**(8): 1214-1227.
- [23] 李瑞玲, 张永春, 曾远, 等. 太湖流域丘陵地区暴雨条件下农田氮素随地表径流迁移特征[J]. 农业环境科学学报,

- 2009, **28**(6): 1185-1190.
- Li R L, Zhang Y C, Zeng Y, *et al.* Effects of rainstorm on the export of farmland nitrogen with surface runoff in Hilly area of Tai Lake Basin[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2009, **28**(6): 1185-1190.
- [24] Ferreira C S S, Walsh R P D, de Lourdes Costa M, *et al.* Dynamics of surface water quality driven by distinct urbanization patterns and storms in a Portuguese peri-urban catchment[J]. *Journal of Soils and Sediments*, 2016, **16**(11): 2606-2621.
- [25] 燕姝雯, 余辉, 张璐璐, 等. 2009 年环太湖入出湖河流量及污染负荷通量[J]. *湖泊科学*, 2011, **23**(6): 855-862.
- Yan S W, Yu H, Zhang L L, *et al.* Water quantity and pollutant fluxes of inflow and outflow rivers of Lake Taihu, 2009 [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2011, **23**(6): 855-862.
- [26] 徐洪斌, 吕锡武, 李先宁, 等. 太湖流域农村生活污水污染现状调查研究[J]. *农业环境科学学报*, 2007, **26**(增刊): 375-378.
- Xu H B, Lü X W, Li X N, *et al.* A survey on village sewage pollution in a zone of Tai Lake[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2007, **26**(S): 375-378.
- [27] 田亚军. 乌溪港和大港河水环境特征解析与水质改善方案研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2016.
- Tian Y J. Inorganic sulfide gaseous and odor emission characteristics of typical municipal wastewater treatment plants [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2016.
- [28] 於梦秋, 蔡颖, 刘华, 等. 太湖流域入湖河流土地利用类型对水质的影响——以乌溪港、武进港为例[J]. *农业环境科学学报*, 2014, **33**(5): 1024-1032.
- Yu M Q, Cai Y, Liu H, *et al.* Impact of land use on water quality along inflow rivers in Taihu Basin[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2014, **33**(5): 1024-1032.
- [29] 张瑞斌. 苏南地区河道低污染水生态修复技术研究[J]. *中国环保产业*, 2015, (10): 46-48.
- Zhang R B. Study on eco-restoration technology of watercourse light polluted water in southern areas of Jiangsu [J]. *China Environmental Protection Industry*, 2015, (10): 46-48.
- [30] 中国气象局. 【气象科普】降水的等级划分[EB/OL]. http://www.cma.gov.cn/2011xzt/2012zhuant/20120928_1_1_1_1_/2010052703/201212/t20121212_195616.html, 2012-12-12.
- [31] Liu J F, Zhang X, Xia J, *et al.* Characterizing and explaining spatio-temporal variation of water quality in a highly disturbed river by multi-statistical techniques[J]. *SpringerPlus*, 2016, **5**(1): 1171.
- [32] Arheimer B, Lidén R. Nitrogen and phosphorus concentrations from agricultural catchments—influence of spatial and temporal variables[J]. *Journal of Hydrology*, 2000, **227**(1-4): 140-159.
- [33] 罗永霞, 高波, 颜晓元, 等. 太湖地区农业源对水体氮污染的贡献——以宜溧河流域为例[J]. *农业环境科学学报*, 2015, **34**(12): 2318-2326.
- Luo Y X, Gao B, Yan X Y, *et al.* Estimating contribution of agricultural sources to aquatic nitrogen load in Taihu Lake Region: a case study of Yili River catchment[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2015, **34**(12): 2318-2326.
- [34] 石德坤. 模拟降雨条件下坡地氮流失特征研究[J]. *水土保持通报*, 2009, **29**(5): 98-101.
- Shi D K. Characteristics of nitrogen loss on slope under simulated rainfall[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2009, **29**(5): 98-101.
- [35] 杨凯, 袁林江, 赵丙良. 降雨对泮河水质和污染特征的影响[J]. *水资源与水工程学报*, 2011, **22**(2): 50-54.
- Yang K, Yuan L J, Zhao B L. Effect of rainfall on Feng River water quality and pollution characteristics[J]. *Journal of Water Resources & Water Engineering*, 2011, **22**(2): 50-54.
- [36] 韩梅, 周小平, 程媛华, 等. 环太湖主要河流氮素组成特征及来源[J]. *环境科学研究*, 2014, **27**(12): 1450-1457.
- Han M, Zhou X P, Cheng Y H, *et al.* Study on the sources and characteristics of nitrogen in the major rivers of Taihu Lake[J]. *Research of Environmental Sciences*, 2014, **27**(12): 1450-1457.
- [37] Yang L, He J T, Liu Y M, *et al.* Characteristics of change in water quality along reclaimed water intake area of the Chaobai River in Beijing, China[J]. *Journal of Environmental Science*, 2016, **50**: 93-102.

CONTENTS

Regional Transport Matrix Study of PM _{2.5} in Jingjinji Region, 2015	WANG Yan-li, XUE Wen-bo, LEI Yu, <i>et al.</i> (4897)
Effect of Atmospheric Haze Based on Multi-source Remote Sensing Data Considering the Size Effect of Landscape Sources and Sinks	XU Kai, YU Tian-tian, SUN Jiao-jiao, <i>et al.</i> (4905)
Space-Time Estimations and Mapping of PM _{2.5} Fine Particulates Based on Multi-source Data	XIAO Lu, LANG Yi-chao, XIA Lang, <i>et al.</i> (4913)
Exposure Level of Population and Economy in Zhejiang Province Considering the Background of PM _{2.5} in East China	YU Zhen-yan, GAO Da-wei, LI Zheng-quan, <i>et al.</i> (4924)
Aerosol Chemical Characteristics for Different Air Pollution Levels in North Suburban Nanjing	ZHANG Cheng, YU Xing-na, AN Jun-lin, <i>et al.</i> (4932)
Seasonal Variation of Carbon Fractions in PM _{2.5} in Heze	LIU Ze-jun, WU Jian-hui, ZHANG Yu-fen, <i>et al.</i> (4943)
Characteristics and Source Apportionment of Water-soluble Inorganic Ions in Road Dust PM _{2.5} in Selected Cities in Liaoning Province	ZHANG Wei, JI Ya-qin, ZHANG Jun, <i>et al.</i> (4951)
Characteristics of the Size Distribution of Water-soluble Ions During a Heavy Pollution Episode in the Winter in Tianjin	YAO Qing, LIU Zi-rui, HAN Su-qin, <i>et al.</i> (4958)
Physico-chemical Characteristic Analysis of PM _{2.5} in the Highway Tunnel in the Plateau City of Kunming	WANG Cheng-hui, YAN Kun, HAN Xin-yu, <i>et al.</i> (4968)
Characteristics Analysis of the Surface Ozone Concentration of China in 2015	DUAN Xiao-tong, CAO Nian-wen, WANG Xiao, <i>et al.</i> (4976)
Effects of Different Precious Metal Loads of CDPF on Characteristics of VOCs Emissions from a Diesel Bus	LOU Di-ming, ZHANG Zi-jun, LIU Ji-yue, <i>et al.</i> (4983)
Influence of ENSO Events on the Hydrogen ($\delta^2\text{H}$) and Oxygen ($\delta^{18}\text{O}$) Isotopic Values of Precipitation in Shanghai	DONG Xiao-fang, YANG Hua-wei, ZHANG Luan, <i>et al.</i> (4991)
Deposition of Sulfur, Nitrogen and Mercury in Two Typical Forest Ecosystems in Southern China	CHENG Zheng-lin, LUO Yao, ZHANG Ting, <i>et al.</i> (5004)
Spatial and Temporal Variability of CO ₂ Emissions from the Xin'anjiang Reservoir	YANG Le, LI He-peng, SUN Bin-feng, <i>et al.</i> (5012)
Evaluation of Temporal and Spatial Variation Characteristics of Nutrients in Surface Sediment in the Three Gorges Reservoir Area	ZHUO Hai-hua, QIU Guang-sheng, ZHAI Wan-ying, <i>et al.</i> (5020)
Distribution of Different Mercury Species in the Waterbody at Sanmenxia Reservoir	CHENG Liu, MA Bing-juan, ZHOU Wei-li, <i>et al.</i> (5032)
Identification of Nitrate Sources and Transformation Processes in Midstream Areas; A Case in the Taizi River Basin	LI Yan-li, SUN Wei, YANG Zi-rui (5039)
Characteristics of Nitrogen Variation and Its Response to Rainfall; A Case Study in Wuxi Port at Taihu Lake Basin	LIAN Hui-shu, LIU Hong-bin, LI Xu-dong, <i>et al.</i> (5047)
Dynamics of the Water Quality in a Broad-leaf Evergreen Forest at Different Spatial Levels on Jinyun Mountain	MA Ming, SUN Tao, LI Ding-kai, <i>et al.</i> (5056)
Method of Improving the Water Quality of Polluted Rivers Based on the MIKE11 Model	XIONG Hong-bin, CHEN Xue, ZHANG Si-si (5063)
Distribution Characteristics and Risk Analysis of Antibiotic in the Groundwater in Beijing	CHEN Wei-ping, PENG Cheng-wei, YANG Yang, <i>et al.</i> (5074)
Characteristics of Carbon and Nitrogen in the Downstream Columnar Sediment of Maozhou River, Shenzhen	LING Jun-hong, ZHANG Yi-zhang, WANG Min-hao, <i>et al.</i> (5081)
Relative Importance of Factors Influencing Iron Release in Drinking Water Distribution Systems	LIU Ying, YU Ying, SHI Bao-you, <i>et al.</i> (5090)
Removal of High Concentration of Iron, Manganese and Ammonia Nitrogen from Low Temperature Groundwater Using Single Bio-filter	LI Dong, CAO Rui-hua, YANG Hang, <i>et al.</i> (5097)
Mechanism of Pre-ozonation Enhanced Coagulation on DON in the Secondary Effluent	LIU Bing, ZHENG Yu-ming, WANG Da-xiang, <i>et al.</i> (5106)
Base Activation of Peroxymonosulfate for the Degradation of Ciprofloxacin in Water	GE Yong-jian, CAI Xian-wei, LIN Han, <i>et al.</i> (5116)
MIL-88A@MIP Activated Persulfate for Targeted Degradation of Dibutyl Phthalate	WANG Jiu-mei, GUAN Ze-yu, WAN Jin-quan, <i>et al.</i> (5124)
Methane Cycle Anaerobic Membrane Bioreactor with Desulfurization for Treating High Sulfate Organic Wastewater at Normal Temperature	XU Ting, JIN Yan-qing, LI Yong (5132)
Simultaneous Recovery of Nutrients from Wastewater by Mesoporous MgO-loaded Natural Zeolite	CHENG Xue-jun, WANG Xue-jiang, WANG Hao, <i>et al.</i> (5139)
Phosphorus Removal Capacity of Domestic Wastewater Treated by a Modified CAST Process Under Different Operating Modes	MA Juan, WANG Jin, YU Xiao-jun, <i>et al.</i> (5146)
Realization of Shortcut Nitrification in the ABR-MBR Process Treating Domestic Wastewater	LÜ Liang, ZHAO Shi-hui, WEI Jia-min, <i>et al.</i> (5154)
Substrate Inhibition and Kinetic Characteristics of Marine Anaerobic Ammonium Oxidizing Bacteria Treating Saline Wastewater	ZHOU Tong, YU De-shuang, LI Jin, <i>et al.</i> (5162)
Effect of Free Ammonia on Ammonia Escape During an Ammonia Oxidation Process	SUN Hong-wei, YU Xue, YOU Yong-jun, <i>et al.</i> (5169)
Water Quality and Diversity of Denitrifier Community Structure of Typical Scenic Water Bodies in Xi'an	KANG Peng-liang, HUANG Ting-lin, ZHANG Hai-han, <i>et al.</i> (5174)
Start-up and Characteristics of the Microbial Community Structure of ANAMMOX	WANG Yao-qi, ZHANG Min, JIANG Ying, <i>et al.</i> (5184)
Fast Start-up and Performance of the CANON Process Based on a SBAF System and Evolution Properties of Microorganisms	YUE Xiu, LIU Zhu-han, YU Guang-ping, <i>et al.</i> (5192)
Enrichment of <i>Nitrospira</i> in Activated Sludge and Kinetic Characterization	YAO Qian, PENG Dang-cong, ZHAO Qiao-di, <i>et al.</i> (5201)
Effect of pH Value on Autotrophic Denitrification Process of Zero Valent Iron Substrate	ZHANG Ning-bo, LI Xiang, HUANG Yong (5208)
Effect of Seeding Single/Mixed Sludge on Rapid Start-up of an ANAMMOX Reactor	ZHANG Ze-wen, LI Dong, ZHANG Jie, <i>et al.</i> (5215)
Comparison of Start-up and Stable Performance of Nitrification in Activated Sludge and Biofilm Processes in a SBR	SUN Yi-qi, BIAN Wei, WANG Meng, <i>et al.</i> (5222)
Long-term Impacts of TiO ₂ Nanoparticles on the Stability of an Anaerobic Granular Sludge Bioreactor	LI Hui-ting, CUI Fu-yi (5229)
Composition and Distribution of Antibiotics in Soils with Different Land Use Types in a Typical Peri-urban Area of the Yangtze River Delta	ZHAO Fang-kai, CHEN Li-ding, YANG Lei, <i>et al.</i> (5237)
Distribution of Phosphorus in Soil Profiles after Continuous Application of Different Fertilizers	ZHANG Tian, XU Hao, RU Shu-hua, <i>et al.</i> (5247)
Occurrence of Organophosphate Esters in Soils of the Three Gorges Reservoir	HE Ming-jing, YANG Ting, YANG Zhi-hao, <i>et al.</i> (5256)
Pollution Characteristics, Source Analysis and Potential Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Soils Surrounding a Municipal Solid Waste Incineration Plant in Shanghai	GUO Yan-hai, SUN Xu-chao, ZHANG Shi-bing, <i>et al.</i> (5262)
Comparison of Characteristics and Source Apportionment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Different Environmental Media in the Urban Area of Daqing City	SONG Ning-ning, FENG Jia-shen, YU Yang, <i>et al.</i> (5272)
Magnetic Response of Heavy Metal Pollution in Playground Dust of an Industrial Area	YANG Meng, LI Hui-ming, LI Feng-ying, <i>et al.</i> (5282)
Distribution Characteristics and Health Risk for Heavy Metals in Vegetables Near the Industrial Areas in Shanghai	ZHOU Ya, BI Chun-juan, ZHOU Xiao-xiao, <i>et al.</i> (5292)
Impacts of Silicon Fertilizer as Base Manure on Cadmium Bioavailability in Soil and on Cadmium Accumulation in Rice Plants	GAO Zi-xiang, ZHOU Hang, YANG Wen-tao, <i>et al.</i> (5299)
Uptake and Volatilization of Gaseous Elemental Mercury by Paddy Rice	SHANG Shuai, TIAN Pei, JIANG Yu, <i>et al.</i> (5308)
Long Term Variations of Ozone Concentration of in a Winter Wheat Field and Its Loss Estimate Based on Dry Matter and Yield	ZHAO Hui, ZHENG You-fei, LI Shuo, <i>et al.</i> (5315)
Control Effect of Side Deep Fertilization with Slow-release Fertilizer on Ammonia Volatilization from Paddy Fields	HOU Peng-fu, XUE Li-xiang, YU Ying-liang, <i>et al.</i> (5326)
Effects of Biochar and Organic Fertilizer on Saline-alkali Soil N ₂ O Emission in the North China Plain	SHI Yu-long, LIU Xing-ren, GAO Pei-ling, <i>et al.</i> (5333)
Flux Characteristics of CO ₂ , CH ₄ , and N ₂ O and their Influencing Factors in Different Types of Ditches on the Chengdu Plain	FENG Xiang-rong, DENG Ou-ping, DENG Liang-ji, <i>et al.</i> (5344)
Review of CO ₂ and CH ₄ Emissions from Rivers	WANG Xiao-feng, YUAN Xing-zhong, CHEN Huai, <i>et al.</i> (5352)