

E方知库  
Eco-Environmental  
Knowledge Web

# 环境科学

ENVIRONMENTAL SCIENCE

ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV  
HUANJING KEXUE

- 主办 中国科学院生态环境研究中心
- 出版 科学出版社



2020

Vol.41 No.5  
第41卷 第5期

目次

上海大气 PM<sub>2.5</sub> 来源解析对比:基于在线数据运用3种受体模型 ..... 周敏(1997)

不同浓度臭氧对单颗粒气溶胶化学组成的影响 ..... 吴梦曦,成春雷,黄渤,李梅,陈多宏(2006)

二次有机气溶胶壳对氯化钠核吸湿性的影响:基于单颗粒微观尺度 ..... 张淑佳,徐亮,郭新梅,黄道,李卫军(2017)

城区与县区不同空气质量下碳组分污染特征对比分析 ..... 李欣悦,张凯山,邓林俐,向铎鹏,武文琪,殷子渊(2026)

临沂市 PM<sub>2.5</sub> 和 PM<sub>10</sub> 中元素分布特征及来源解析 ..... 陆平,赵雪艳,殷宝辉,张楠,王歆华,余浩,杨文,王晓丽(2036)

西安市秋冬季市区与山区微生物气溶胶组成特征及来源 ..... 谢雯文,路瑞,慕云飞,戚玉珍,白文艳,李彦鹏(2044)

北京市典型餐饮企业大气污染物排放特征 ..... 何万清,王天意,邵霞,聂磊,石爱军(2050)

基于随机森林模型的中国 PM<sub>2.5</sub> 浓度影响因素分析 ..... 夏晓圣,陈菁菁,王佳佳,程先富(2057)

大气污染联合治理分区视角下的中国 PM<sub>2.5</sub> 关联关系时空变异特征分析 ..... 杨文涛,黄慧坤,魏东升,赵斌,彭焕华(2066)

基于地-空观测数据的粤港澳大湾区大气污染调查及时空演变特征 ..... 王耀庭,梁加成,郑祚芳,李青春,李威,窦有俊(2075)

龙子祠泉域岩溶地下水水化学特征及成因 ..... 唐春雷,郑秀清,梁永平(2087)

三峡水库总磷时空变化特征及滞留效应分析 ..... 唐小娅,童思陈,黄国鲜,许光祥,李丹(2096)

三峡水库汛后蓄水期典型支流溶解氧与叶绿素 a 垂向分布特征 ..... 杨凡,纪道斌,王丽婧,李虹,李莹杰(2107)

汉丰湖正式运行年水体营养盐分布特征 ..... 付适,倪九派,何丙辉,李天阳,唐毅,钱田,向可翠(2116)

白洋淀水体富营养化和沉积物污染时空变化特征 ..... 刘鑫,史斌,孟晶,周云桥,可欣,王铁宇(2127)

新安江水库悬浮颗粒物时空分布、沉降通量及其营养盐效应 ..... 史鹏程,朱广伟,杨文斌,许海,朱梦圆,刘明亮,虞左明,吴志旭,郑文婷,王裕成,笄文怡,胡林娜(2137)

不同水文情景下高邮湖、南四湖和东平湖有色可溶性有机物的生物可利用性特征 ..... 张柳青,石玉,李元鹏,郭燕妮,周蕾,周永强,张运林,杨艳(2149)

水源水藻类功能群落演替特征及水质评价 ..... 李衍庆,黄廷林,张海涵,温成成,杨尚业,林子深,高欣(2158)

人工强制混合对金盆水库水体藻类群落结构时空演替的影响 ..... 王晨旭,黄廷林,李楠,齐允之,徐金兰,司凡,张晗,路林超(2166)

雄安新区-白洋淀冬季冰封期水体好氧反硝化菌群落空间分布特征及驱动因素 ..... 周石磊,孙悦,岳智丞,张航,王周强,刘世崇,彭瑞哲,苑世超,李再兴,崔建升(2177)

分层型水库水体好氧不产氧光合细菌时空演替特征 ..... 张海涵,王燕,黄廷林,王晨旭,路林超,司凡,李楠,刘凯文,闫苗苗,苗雨甜(2188)

大型通江湖泊有色可溶性有机物对不同水文情景的响应 ..... 郭燕妮,李元鹏,石玉,张柳青,周蕾,周永强,张运林,韩龙飞(2198)

秦岭北麓河流夏季有色溶解有机物分布特征及影响因素 ..... 林子深,黄廷林,杨尚业,温成成,李衍庆,周石磊,宋选社(2210)

长江下游支流水体中多环芳烃的分布及生态风险评估 ..... 贾天琪,雷荣荣,武小琳,倪涛涛,孙树睿,郭伟,刘文彬(2221)

太湖水体中 NSAIDs 的时空分布规律和生态风险评估 ..... 廉杰,李祎飞,王晓喧,叶彬,邹华,史红星(2229)

8种典型 PhACs 在水中的赋存、生态风险及其对大型溞的影响 ..... 徐鑫磊,刘建超,陆光华(2239)

我国南方桉树人工林区水库沉积物污染物的分布特征及迁移规律 ..... 朱雅,李一平,罗凡,李荣辉,黄列,程一鑫,蒋裕丰(2247)

基于连续监测的城市内河返黑返臭机制初探:以南宁市二坑溪为例 ..... 李永新,王威,何妹,申泰铭(2257)

城郊流域源汇景观格局与水体抗生菌的关系 ..... 李敏,唐剑锋,陈利顶,赵方凯,冯青郁,杨磊(2264)

城市雨水径流中溶解性有机物的分子化学多样性 ..... 聂云汉,陈浩,李磊,朱奕,赵昕,贾其隆,徐慧婷,叶建锋(2272)

方解石/氯磷灰石混合物添加对水体内源磷迁移转化的调控效应和机制 ..... 柏晓云,林建伟,詹艳慧,常明玥,吴俊麟,辛慧敏,黄良君(2281)

不同环境条件下水铁矿和针铁矿纳米颗粒稳定性 ..... 王智巧,马杰,陈雅丽,翁莉萍,顾亚陶,李永涛(2292)

向日葵秸秆生物炭强化 Fe(III)/S<sub>2</sub>O<sub>8</sub><sup>2-</sup> 体系降解苯甲酸 ..... 孙鹏,张凯凯,张玉,张延荣(2301)

非活化单过硫酸盐降解柳氯磺胺吡啶:动力学及机制 ..... 丁曦,张学维,周润生,宋哲,严佳颖,周磊,修光利(2310)

贵州某规模化养猪场废水中抗生素的污染特征及去除效果 ..... 杨钊,李江,向福亮,李彦澄,马凯,谢锋(2320)

新型填料 A/O 生物滤池处理低碳氮比农村污水脱氮 ..... 赵远哲,杨永哲,王海燕,储昭升,常洋,董伟羊,闫国凯,王欢,李丛宇(2329)

贫营养好氧反硝化菌株的脱氮特性及氮/碳平衡分析 ..... 文刚,王彤,黄廷林,万琪琪,曹瑞华,寇莉青,杨尚业(2339)

连续流 SNAD 工艺处理猪场沼液启动过程中微生物种群演变及脱氮性能 ..... 秦嘉伟,信欣,鲁航,张萍萍,王露蓉,邹长武,郭俊元(2349)

不同培养条件厌氧氨氧化颗粒污泥活性及微生物群落结构差异 ..... 姜滢,郭萌蕾,谢军祥,常尧枫,谢嘉玮,陈重军,沈耀良(2358)

反硝化除磷耦合部分亚硝化-厌氧氨氧化一体式工艺的启动 ..... 陈亚,印雯,张星星,张钰,宋吟玲,吴鹏,徐乐中(2367)

土壤环境承载力评价体系构建与应用 ..... 李笑诺,丁寿康,陈卫平,王夏晖,吕斯丹,刘睿(2373)

磁性生物炭的合成及对土壤重金属污染的钝化效果 ..... 王俊楠,程珊珊,展文豪,任强,马晓宇,王洋洋(2381)

还原增溶强化 EGTA 淋洗修复重金属污染土壤 ..... 张金永,朱玉婷,王明新,韩莹,葛嘉琦(2390)

不同价态铬和土壤理化性质对大麦根系毒性阈值的影响 ..... 付平南,贡晓飞,罗丽韵,王琪,李花粉(2398)

生物炭施用对紫色土旱坡地土壤氮流失形态及通量的影响 ..... 王舒,王子芳,龙翼,严冬春,慈恩,徐国鑫,李娇,高明(2406)

长期撂荒恢复土壤团聚体组成与有机碳分布关系 ..... 王兴,钟泽坤,张欣怡,吴少君,卢绪巧,杨改河,任成杰,韩新辉(2416)

施用生物炭对壤土土壤微生物代谢养分限制和碳利用效率的影响 ..... 王强,耿增超,许晨阳,郭靖宇,李倩倩,刘莉丽,赵汉红,杜旭光(2425)

间种高粱及施用大颗粒尿素对茶园 N<sub>2</sub>O 排放的影响 ..... 张珂彬,刘新亮,康曼,王毅,沈健林,李勇(2434)

缙云山森林植被类型对土壤 N<sub>2</sub>O 相关功能微生物的影响 ..... 王盛燕,王富华,罗东海,昌盛,王子芳,高明(2445)

咸水滴灌对棉田土壤 N<sub>2</sub>O 排放和反硝化细菌群落结构的影响 ..... 郭慧楠,马丽娟,黄志杰,李美琪,侯振安,阎伟(2455)

有机质提升对酸性红壤氮循环功能基因及功能微生物的影响 ..... 储成,吴赵越,黄欠如,韩成,钟文辉(2468)

模拟酸雨对毛竹阔叶林过渡带土壤真菌结构及其多样性的影响 ..... 王楠,潘小承,王传宽,白尚斌(2476)

海洋沉积物中细菌 DNA 和 RNA 水平群落差异 ..... 李明月,杨雨虹,米铁柱,贺惠,甄毓(2485)

2003~2013年中国湿地变化的空间格局与关联性 ..... 周婷,马蛟蛟,徐颂军(2496)

《环境科学》征订启事(2086) 《环境科学》征稿简则(2187) 信息(2209,2263,2309)

# 基于连续监测的城市内河返黑返臭机制初探：以南宁市二坑溪为例

李永新<sup>1</sup>, 王威<sup>1\*</sup>, 何妹<sup>2</sup>, 申泰铭<sup>2</sup>

(1. 南宁市勘察测绘地理信息院, 南宁 530022; 2. 桂林理工大学环境科学与工程学院, 桂林 541004)

**摘要:** 黑臭水体严重危害城市生态功能,“水十条”的颁布为实现城市黑臭水体的污染整治目标制定了时间表. 城市黑臭水体治理过程中,大量治理后的水体出现返黑返臭现象. 为研究这一现象的原因,采用多参数水质检测仪和化学分析方法,对治理后返黑返臭的南宁市二坑溪水体进行了24 h连续监测和月度动态监测. 结果表明,降雨过程与水体氨氮浓度相关性显著( $P < 0.01$ ),气温与水体氨氮浓度变化趋势正相关( $r = 0.23, P < 0.05$ ),与水体透明度变化趋势负相关( $r = -0.33, P < 0.01$ ),显示治理后水体返黑返臭与内源污染物的微生物降解和外源污染物的输入有关. 综上,为了防止治理后的城市黑臭水体返黑返臭,应当关注河道底泥等内源污染物及其控制技术,综合采取生态治理手段减少外源污染物输入,才能最终实现城市黑臭水体长效治理.

**关键词:** 黑臭水体; 连续监测; 返黑返臭; 水体微生物; 河道底泥

中图分类号: X522 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2020)05-2257-07 DOI: 10.13227/j.hjck.201909259

## Mechanism of Urban Black Odorous Water Based on Continuous Monitoring: A Case Study of the Erkeng Stream in Nanning

LI Yong-xin<sup>1</sup>, WANG Wei<sup>1\*</sup>, HE Mei<sup>2</sup>, SHEN Tai-ming<sup>2</sup>

(1. Nanning Exploration and Survey Geoinformation Institute, Nanning 530022, China; 2. College of Environmental Science and Engineering, Guilin University of Technology, Guilin 541004, China)

**Abstract:** Black odorous water seriously endangers urban ecological functions. The “Water Pollution Prevention Action Plan” promulgated by the State Council has attached great importance to this issue and set a timetable for achieving the goal of pollution remediation of the urban black odorous water problem. However, in the process of managing the city’s black odorous water, we found that the apparent governance effect is not sustainable. Many of the urban waters that have been treated to become clear have returned to a black odorous state. This problem has constrained the completion of the black odorous water control plan, and urgently needs to be resolved. To explain the reason for this phenomenon, we chose the Erkeng Stream in Nanning as the research object, which is a water body that returns to a black odorous state after treatment. We used a multi-parameter water quality tester and chemical analysis method to carry out daily continuous monitoring for 24 h and monthly dynamic monitoring of the water body. The results showed that the rainfall process was significantly correlated with the ammonia nitrogen concentration in the water ( $P < 0.01$ ), and the temperature was positively correlated with the trend of ammonia nitrogen concentration in the water ( $r = 0.23, P < 0.05$ ), which in turn was negatively correlated with the change trend of water transparency ( $r = -0.33, P < 0.01$ ). The above results show that the return of the black odorous state may be related to the microbial degradation of endogenous pollutants and the input of external pollutants. The reason may be: ① The microorganisms are driven by light and temperature to promote the development of water in the direction of the black odorous state; ② Contaminants carried by rainfall promote the formation of black odor in water bodies. In short, in the context that internal pollution cannot be completely eradicated and external pollutants are difficult to control effectively, to prevent the treated urban water body from returning to a black odorous state, attention should be paid to endogenous pollutants such as river sediment and its control technology. Moreover, ecological control measures should be comprehensively adopted to reduce the input of external source indicators.

**Key words:** black odorous water; continuous monitoring; back to black odor; water body microorganisms; sediment

过量的污染物进入城市水体,使其出现黑臭现象,并严重威胁城市的功能<sup>[1-3]</sup>. 国务院发布了《水污染防治行动计划》,又称“水十条”,提出了黑臭水体控制愿景<sup>[4,5]</sup>. 目前国内外的研究将黑臭水体的形成机制概括为:首先,过量的污染物进入水体并造成微生物迅速繁殖和水体缺氧<sup>[6]</sup>;随后,厌氧或兼性微生物进行厌氧发酵并产生硫化氢、氨、硫醚、乔司脒和2-二甲基异茨醇等致臭物质<sup>[7]</sup>;同时,微生物在厌氧状态下生成的硫化氢等还原性硫化物与

$\text{Fe}^{2+}$ 、 $\text{Mn}^{2+}$ 等金属离子反应生成的黑色化合物与腐殖质等有机物共同导致水体变黑<sup>[8]</sup>;最后,变黑的水体阻碍阳光并抑制藻类和沉水植物的光合作用,使得水体复氧能力丧失,加剧了水体的缺氧. 水体最终进入“黑臭→复氧能力丧失→黑臭加重”的恶性循

收稿日期: 2019-09-27; 修订日期: 2019-11-29

基金项目: 南宁市科学研究与技术开发计划项目(20183045-1)

作者简介: 李永新(1978~),男,硕士,高级工程师,主要研究方向为水环境综合治理, E-mail: yxleawhu@126.com

\* 通信作者, E-mail: dixin072@sina.com

环<sup>[9]</sup>. 总之,以微生物为中心的水生生态系统修复是黑臭水体生态治理的关键环节. 2017 年全国共排查出黑臭水体 2082 个<sup>[10]</sup>,且治理过的城市内河出现大量返黑返臭问题,引起了相关部委的重视<sup>[11]</sup>. 目前,国内外对于黑臭水体的研究主要集中在黑臭水体形成机制、污染物转化原理以及黑臭水体综合治理技术研究等方面<sup>[12]</sup>,缺乏对于黑臭水体长效治理的相关研究,尚没有针对城市黑臭水体在治理后返黑返臭问题的关注和研究报道. 本文选择南宁市二坑溪作为研究对象,对水体中叶绿素 a 等水质参数进行连续监测,并尝试分析治理后的城市水体返黑返臭的原因. 本研究将有助于进一步深入研究城市水体黑臭机制,以期为我国城市黑臭水体的长效治理和水环境保护提供理论依据和数据支持.

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区域概况

南宁市二坑溪位于南宁市西乡塘区,全长约 2.8 km,年平均流量约  $22.2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ,曾经为劣 V 类水和重度黑臭状态. 南宁市于 2017~2018 年曾对二

坑溪进行过黑臭水体综合治理,设置了基于接触氧化法的一体化污水处理装置,对雨污混排的源水进行处理并引入邕江水进行稀释,还在部分河段安装了冲击曝气装置并建设植物浮岛和护岸<sup>[13]</sup>,黑臭治理取得了一定成效. 目前,该河道出现大面积返黑返臭,所有河段均处于轻度至中度黑臭状态. 本研究所取水样来自南宁市二坑溪的 4 个具代表性的监测断面(图 1, 1~4 号). 各监测断面位置信息及黑臭情况如表 1.

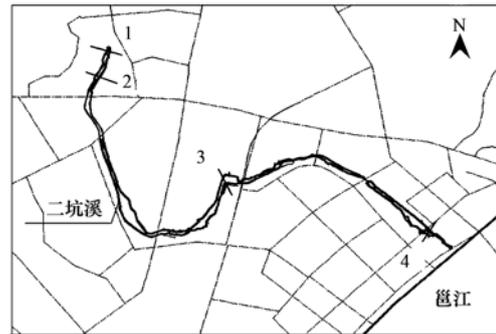


图 1 二坑溪水质监测断面分布示意

Fig. 1 Distribution map of water quality monitoring points in the Erkeng Stream

表 1 各监测断面位置信息

Table 1 Location information of each monitoring section

监测断面编号	经度(E)	纬度(N)	黑臭状态	样点性质
1	108°17'49"	22°49'22"	中度	上游污水排口
2	108°17'17"	22°49'20"	轻度	小型污水处理装置排水口
3	108°17'36"	22°49'00"	轻度	河道
4	108°18'11"	22°48'50"	中度	截流坝前

其中, 1 号断面位于二坑溪上游, 龙腾湖的一处出口暗渠, 为雨污混合排口, 水流缓慢; 2 号断面位于 1 号断面下游 10 m 处, 1 号和 2 号两断面间设置有污水处理装置, 暗渠水经过处理并稀释后流经 2 号断面; 3 号断面位于一处隔水坝上游, 与 2 号断面相距约 0.7 km, 其间设置有“推流曝气机 + 水生植物浮岛”的生态强化措施; 4 号断面与 3 号断面相距约 0.7 km, 位于二坑溪末端的提升泵站前, 水流缓慢. 各监测断面水深均大于 1 m, 各监测断面的具体位置见图 1.

### 1.2 监测方法

24 h 连续监测采用 YSI-EXO2 多参数水质检测仪, 于 7 月 15 日上午 11:00 至 7 月 16 日上午 11:00, 对二坑溪水体中叶绿素 a (chlorophyll-a, Chl-a)、溶解氧 (dissolved oxygen, DO)、氧化还原电位 (oxidation-reduction Potential, ORP)、电导率 (conductivity, E)、溶解总固体 (total dissolved solid, TDS)、盐度 (salinity, S)、pH 和温度 (temperature, T) 进行 24 h 连续监测. 其检测精度优于 0.1%.

月度变化监测采用化学分析法, 于 7 月 31 日至 8 月 24 日之间, 对二坑溪水体的溶解氧 (DO)、氨氮 (ammonia nitrogen,  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ )、氧化还原电位 (ORP) 以及透明度 (permeability, P) 进行了日变化监测. 溶解氧采用碘量法 (GB 7489-1987); 氨氮采用纳氏试剂分光光度法 (HJ 535-2009); 氧化还原电位采用电极法 (SL 94-1994); 透明度采用塞氏盘法 (SL 87-1994).

### 1.3 数据处理方法

所得的数据采用 Origin 7.3 及 Office Excel 2010 进行数据处理和图表绘制. 数据分析采用 SPSS 12.0 软件进行. 所有的检测均进行 3 次重复, 结果取平均值.

## 2 结果与分析

### 2.1 光照和温度变化对水体理化参数日变化的影响

将 24 h 自动监测仪测得的叶绿素 a 等参数的连续监测数据与时间做图, 对比各监测数据的日变化趋势, 结果如图 2 所示. 在 24 h 连续监测中, 叶绿

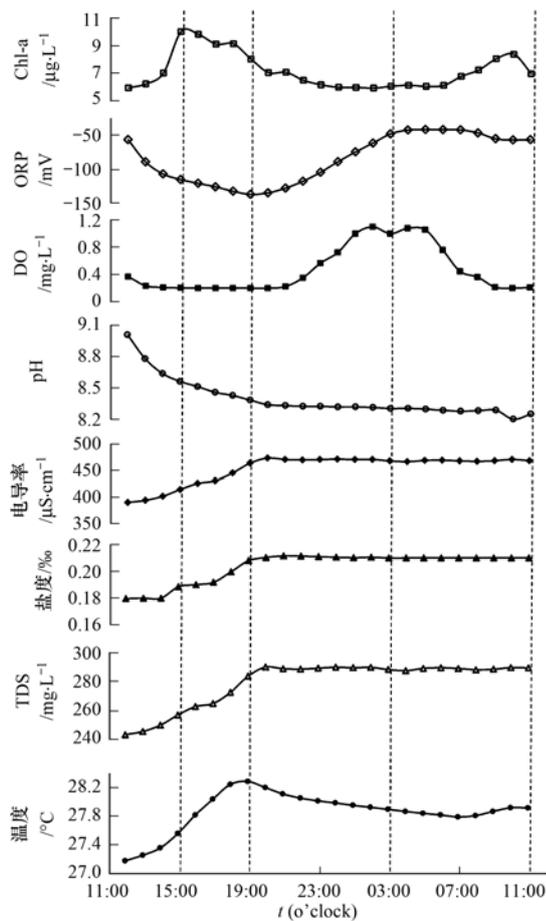


图2 二坑溪水质参数24 h连续变化趋势

Fig. 2 The 24 h continuous change trend of water quality parameters of the Erkeng Stream

素a呈现出先升高后降低,在夜间保持稳定,日出后再上升的变化趋势,其数值最高升到 $10.00 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ,最低降到 $5.92 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ .氧化还原电位在日间以及入夜后一段时间内呈现逐渐下降的趋势,在21:00至次日11:00时间段内缓慢上升.最高升到 $-41.96 \text{ mV}$ ,最低降到 $-137.55 \text{ mV}$ .溶解氧在白天和傍晚时间段内基本稳定不变,在入夜后持续上升,并在次日凌晨3:00开始下降.最高升到 $1.10 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,最低降到 $0.21 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ .电导率、盐度和溶解总固体等参数均呈现先上升后平稳的现象,分别升至 $473.36 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ 、 $0.21\%$ 和 $289.95 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 后达到稳定.pH值呈现先下降后平稳的现象,最低值为8.28.温度呈现出先升高后下降的趋势.在首日夜间19:00达到最高值 $28.28^\circ\text{C}$ 随后逐渐下降至 $27.18^\circ\text{C}$ ,于次日晨07:00开始缓慢回升.综上,叶绿素a及温度等理化因子显示出显著日变化特征,光照和温度很可能是影响水体理化参数的主导因素.

## 2.2 降雨事件和气温对黑臭水体水质月度变化的影响

将化学分析法测得的氨氮等指标的月度连续监

测数据与时间做图,结果如图3和图4所示.数据显示,1号和4号监测断面水质参数变化情况较为接近[图3(a)],2号和3号监测断面水质参数变化情况较为接近[图3(b)].其中,1号和4号监测断面水体溶解氧水平整体较低,而2号和3号监测断面水体溶解氧仅在降雨过程后有明显下降.1号和4号监测断面水体氨氮浓度受到降雨的影响而发生波动,而2号和3号监测断面水体氨氮浓度受到降雨过程的影响不明显,两断面氨氮监测值差异显著( $P < 0.01$ ),显示2号、3号断面上游采取的治理手段提升了河道对于氨氮的环境容量.1号和4号监测断面水体氧化还原电位受到降雨过程的影响而发生波动,而2号和3号监测断面水体氧化还原电位受到降雨过程的影响不明显,并且2号和3号监测断面水体氧化还原电位显著高于1号和4号监测断面( $P < 0.01$ ),显示出治理措施对于升高氧化还原电位也具有一定效果.氨氮、水体透明度两因子与水体黑臭程度密切相关,对比2号和3号监测断面的上述两个因子的变化趋势与温度变化趋势的关系.结果显示,气温与水体氨氮浓度变化趋势相同[图4(a)],两者呈正相关关系( $r = 0.23, P < 0.05$ );气温与水体透明度变化趋势相反[图4(b)],两者呈负相关关系( $r = -0.33, P < 0.01$ ),显示温度与水体黑臭之间存在一定关联.结果显示,城市黑臭水体中氨氮等指标与降雨事件存在一定关联.在整体变化趋势上,氨氮以及水体透明度与当日气温存在较显著关联.

## 3 讨论

### 3.1 水体返黑返臭的内因分析

在7月15日11:00~15:00时间段内,随着日照的加强,监测断面内的温度和叶绿素a浓度不断升高(图2).叶绿素a是绿色植物和藻类普遍具有的一种色素,它的浓度可以表征水体中光合微生物数量和活性<sup>[14]</sup>.在11:00~15:00时,光照驱使藻类迅速分裂增殖,水体中叶绿素a浓度随之上升.通常,藻类增殖产氧会使得水体溶解氧上升,但是,此时监测断面的溶解氧从 $0.37 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 下降至 $0.20 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 后趋于稳定.这一现象很可能是由于水体中非光合微生物消耗了过多氧气,造成溶解氧降至极低( $0.20 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,图2).在溶解氧浓度极低的状态下,水体中微氧和兼性微生物将会占据生态位并大量繁殖<sup>[15,16]</sup>.与此同时,随着环境温度上升(从 $27.18^\circ\text{C}$ 上升至 $27.56^\circ\text{C}$ ,图2),更加速了上述微生物的生长.采用厌氧发酵获取能量的微氧和兼性微生物会产生醇类或有机酸等还原性产物,使得水体

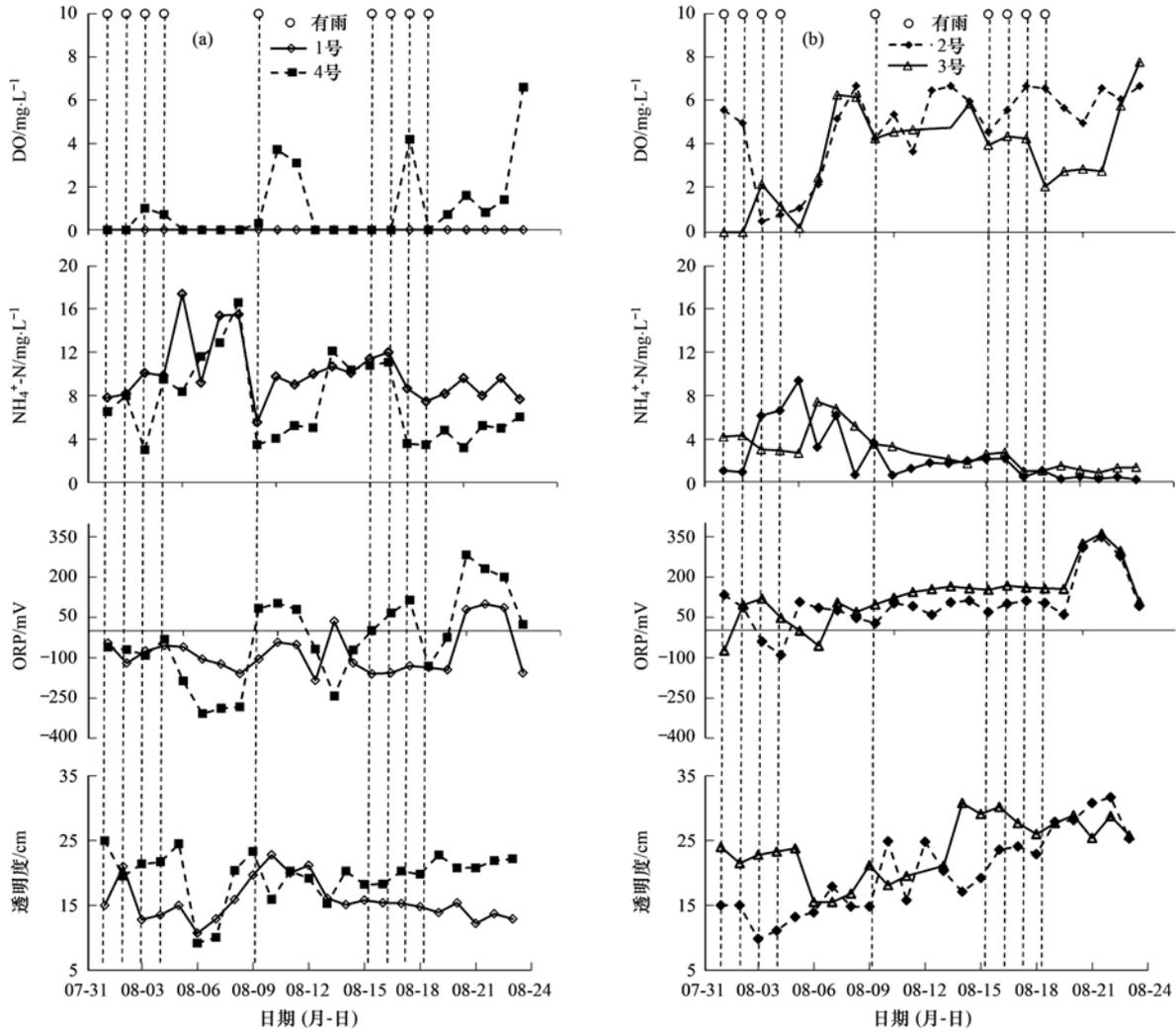


图3 二坑溪水质参数日变化趋势

Fig. 3 Diurnal trend chart of water quality parameters of the Erkeng Stream

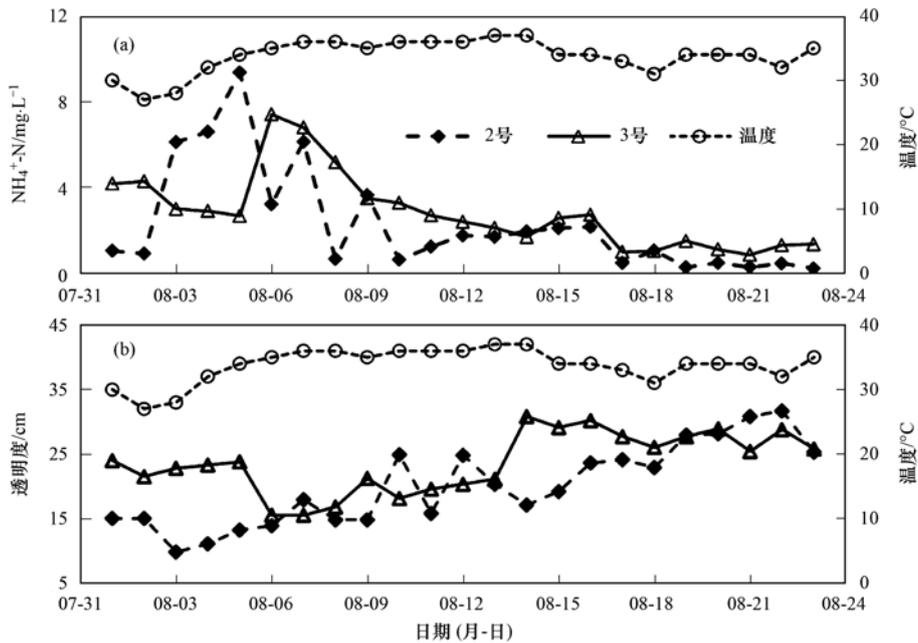


图4 温度对二坑溪水氨氮和透明度的变化趋势的影响

Fig. 4 Effect of temperature on the change trend of ammonia nitrogen and transparency in the Erkeng Stream

中氧化还原电位下降<sup>[17]</sup>. 该时间段内氧化还原电位快速下降(从  $-56.93$  mV 下降至  $-115.70$  mV, 图 2), 也印证了微氧和兼性微生物快速繁殖的推测. 总之, 在 11:00 ~ 15:00 时间段内, 随着光照的增强和温度的升高, 水体中光合藻类与微氧、兼性微生物并存且快速增殖, 水体的耗氧速度超过水体的产氧速度, 水体中溶解氧和氧化还原电位不断降低因而出现黑臭化. 之前的研究也表明, 当水体温度处于  $8 \sim 35^{\circ}\text{C}$  之间时, 水体中微生物大量滋生, 使得水体容易出现黑臭现象<sup>[18]</sup>. 可见, 温度是驱动水体黑臭化的重要因素.

在 7 月 15 日 15:00 ~ 20:00 时间段内, 水体中的叶绿素 a 浓度随之下降(图 2). 由于藻类生命活动对光照强度反应灵敏<sup>[19]</sup>, 在该时间段内, 藻类生命活动强度随着光照强度减弱而降低, 藻类细胞从快速分裂增殖的状态转变为呼吸、分解状态, 因而水体中叶绿素 a 浓度出现下降<sup>[20]</sup>. 在此时间段内, 随着光照强度的减弱, 水体温度不降反升(从  $27.56^{\circ}\text{C}$  上升至  $28.28^{\circ}\text{C}$ , 图 2), 水体溶解氧浓度也一直维持在  $0.21 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  左右. 这一现象很可能是因为水体中的微氧和兼性厌氧微生物进行厌氧发酵, 其释放的热量使得水体温度上升<sup>[21, 22]</sup>. 同时, 厌氧发酵产生的小分子还原性物质进入水体, 会使得氧化还原电位发生下降<sup>[17]</sup>. 氧化还原电位在 15:00 ~ 20:00 之间的缓慢下降(从  $-115.70$  mV 下降至  $-135.34$  mV, 图 2)印证了上述推测. 总之, 在 15:00 ~ 20:00 时间段内, 水体中的厌氧和兼性微生物占主导地位并分解有机质和污染物, 产生的热量使得水体温度升高, 并加速了厌氧和兼性微生物的增殖, 促使水体向黑臭化发展.

在 7 月 15 日 20:00 ~ 次日 03:00 的时段内, 观察到水体溶解氧和氧化还原电位迅速上升(从  $0.21 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  上升到  $1.1 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , 从  $-135.34$  mV 上升至  $-48.38$  mV, 图 2). 城市河道自然复氧主要依靠气体交换和水生植物的光合作用<sup>[23, 24]</sup>. 此时, 藻类光合作用停止而无法产生氧气, 因此水体中的氧气只可能来自于与空气的气体交换. 值得注意的是, 此时水体的温度逐渐下降(从  $28.28^{\circ}\text{C}$  下降至  $27.80^{\circ}\text{C}$ , 图 2), 很可能是由于溶解氧浓度上升抑制了厌氧和兼性微生物的厌氧发酵<sup>[25]</sup>, 使得水体降温并向去黑臭化的方向发展. 然而, 这一过程在 7 月 16 日 03:00 ~ 07:00 时间段内被打断: 尽管此时监测断面内的温度仍然呈现逐渐下降的趋势(从  $27.9^{\circ}\text{C}$  下降至  $27.8^{\circ}\text{C}$ , 图 2), 但是下降速率明显减缓, 并且水体中溶解氧浓度开始下降(从  $1.00 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  下降至  $0.44 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , 图 2). 这一现象显示水体中好氧微生物开

始进行有氧代谢活动, 消耗氧气并放出热量<sup>[26]</sup>, 使得温度下降的速率减缓. 总之, 在这一时间段, 水体复氧过程出现反复, 最终被好氧微生物的增殖打断. 可见, 水体中的好氧微生物是破坏水体复氧, 促使水体向黑臭化发展的重要内在因素.

另外, 在整个 24 h 连续监测过程中, 电导率、溶解总固体和盐度的变化于 11:00 ~ 20:00 处于持续上升的状态, 在 7 月 15 日 20:00 ~ 次日 07:00, 上述参数的数值则趋于平稳; 结合 pH 值持续降低的变化趋势(图 2), 很可能是由于微氧和兼性微生物进行厌氧发酵释放的  $\text{CO}_2$  及  $\text{H}_2\text{S}$  等弱酸性小分子物质, 与水体中与  $\text{Fe}^{2+}$  和  $\text{Mn}^{2+}$  等金属离子反应, 生成的 FeS 等致黑物质同时也是弱电解质, 从而使得水体 pH 值出现下降, 并促使水体黑臭化<sup>[9]</sup>. 综上, 在光照不足和温度驱动的作用下, 水体中的好氧、兼性和厌氧微生物, 促使水体不断向黑臭化方向发展.

### 3.2 水体返黑返臭的外在原因分析

对水质的月度监测显示, 降雨过程能够使得水体溶解氧水平降低、氨氮浓度增高、氧化还原电位发生波动, 这是由于降雨造成的面源污染物输入并激起底泥造成的. 有研究显示, 初期降雨裹挟的污染物以及暴雨的冲刷效应是造成我国城市河道黑臭化的重要因素<sup>[27]</sup>. 而采取了植物护坡和生态浮筏等生态治理手段的河道, 能够消减降雨裹挟的面源污染和污染物冲击, 提升河道对于氨氮等污染物的环境容量, 防止河道黑臭化<sup>[28]</sup>.

本研究还显示, 水动力状态较好的河道断面(2 号和 3 号)水质情况要明显优于水流缓慢的河道断面(1 号和 4 号), 当水动力状态因为截流等原因而变得不佳时, 水体便会返黑返臭. 显示水动力状态是水体黑臭的重要影响因素. 另外, 一个现象值得注意: 4 号监测断面位于 2 号和 3 号监测断面的下游, 在 2 号和 3 号监测断面附近采取了截污、原位处理、曝气以及生态治理等综合处理手段, 并使得 2 号和 3 号监测断面的水质好转. 但是, 当河水流至 4 号监测断面时水质劣化, 其水质参数与源头未经处理的 1 号监测断面类似. 在截污工程已经完成的情况下, 4 号断面处水体的返黑返臭现象尤其值得关注. 日变化监测结果显示, 氨氮、水体透明度这两个与水体黑臭程度密切相关因子, 与气温存在较显著的相关关系, 说明温度是水体返黑返臭的驱动因素; 结合 24 h 连续监测的结果进行分析, 4 号断面水体的返黑返臭的另一原因很可能是底泥中的氨氮、金属离子等致黑致臭物质在微生物作用下的不断释放. 河道底泥为微生物提供了营养和能量来源并造成水体缺氧和发臭, 并且释放金属离子最终造成水体发黑,

可见,有效控制河道底泥是防止水体返黑返臭的最直接办法。

#### 4 结论

(1)24 h 水环境连续监测发现,氨氮浓度和透明度等与水体黑臭化密切相关的参数受到环境温度的影响显著( $P < 0.05$ ),综合其它理化参数,显示藻类、细菌等水生微生物与底泥之间的相互作用可能是水体返黑返臭的重要驱动因子。

(2)月度水环境动态监测发现,水体氨氮浓度受到降雨事件的影响显著( $P < 0.01$ ),显示外源污染物可能是导致水体返黑返臭的重要因素。

(3)改良水体微生物群落结构并实现河道底泥消解,并综合采取生态治理办法控制外源污染,可能是提高水体环境容量并实现城市黑臭水体长效治理的突破方向。

致谢:感谢广西壮族自治区水利科学研究院对本研究提供的指导和支持。

#### 参考文献:

- [ 1 ] 赵越,姚瑞华,徐敏,等.我国城市黑臭水体治理实践及思路探讨[J].环境保护,2015,43(13):27-29.  
Zhao Y, Yao R H, Xu M, *et al.* Study on the practice and route of combating urban black-and-malodorous water body [J]. Environmental Protection, 2015, 43(13): 27-29.
- [ 2 ] 刘晓玲,徐瑶瑶,宋晨,等.城市黑臭水体治理技术及措施分析[J].环境工程学报,2019,13(3):519-529.  
Liu X L, Xu Y Y, Song C, *et al.* Analysis of treatment technologies and measures for the urban black-stinking water body [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2019, 13(3): 519-529.
- [ 3 ] Ji X Y, Zhang W Z, Jiang M Q, *et al.* Black-odor water analysis and heavy metal distribution of Yitong river in Northeast China [J]. Water Science & Technology, 2017, 76(8): 2051-2064.
- [ 4 ] 王少林.城市黑臭水体整治中控源截污改善措施的思考[J].净水技术,2017,36(11):1-6.  
Wang S L. Consideration of improvement measures for the pollutant source control in remediation of urban black and odorous water body[J]. Water Purification Technology, 2017, 36(11): 1-6.
- [ 5 ] 国务院.水污染防治行动计划[M].北京:人民出版社,2015.  
The State Council. Action plan for prevention and control of water pollution[M]. Beijing: People's Publishing House, 2015.
- [ 6 ] Bentley R, Chasteen T G. Environmental VOCs-formation and degradation of dimethyl sulfide, methanethiol and related materials[J]. Chemosphere, 2004, 55(3): 291-317.
- [ 7 ] Pan M, Zhao J, Zhen S C, *et al.* Effects of the combination of aeration and biofilm technology on transformation of nitrogen in black-odor river[J]. Water Science & Technology, 2016, 74(3): 655-662.
- [ 8 ] Chen J, Xie P, Ma Z M, *et al.* A systematic study on spatial and seasonal patterns of eight taste and odor compounds with relation to various biotic and abiotic parameters in Gonghu Bay of Lake Taihu, China[J]. Science of the Total Environment, 2010, 409(2): 314-325.
- [ 9 ] 王旭,王永刚,孙长虹,等.城市黑臭水体形成机理与评价方法研究进展[J].应用生态学报,2016,27(4):1331-1340.  
Wang X, Wang Y G, Sun C H, *et al.* Formation mechanism and assessment method for urban black and odorous water body: a review[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2016, 27(4): 1331-1340.
- [ 10 ] 住房和城乡建设部,生态环境部.全国城市黑臭水体整治信息发布[EB/OL].http://www.hcstzz.com,2017-06-06.
- [ 11 ] 生态环境部,住房城乡建设部.两部门联合开展城市黑臭水体整治专项巡查[EB/OL].http://www.gov.cn/xinwen/2018-10/22/content\_5333466.htm,2018-10-22.
- [ 12 ] 刘建福,陈敬雄,辜时有,等.城市黑臭水体空气微生物污染及健康风险[J].环境科学,2016,37(4):1264-1271.  
Liu J F, Chen J X, Gu S Y, *et al.* Air Microbial pollution and health risk of urban black odorous water [J]. Environmental Science, 2016, 37(4): 1264-1271.
- [ 13 ] 孔德英.南宁市二坑溪黑臭河道治理方案设计探讨[J].环境与发展,2018,30(8):46-47.  
Kong D Y. Discussion on design of treatment scheme for black odor river in Erkengxi, Nanning [J]. Environment and Development, 2018, 30(8): 46-47.
- [ 14 ] 王国芳.高密度蓝藻消亡对富营养化湖泊黑臭水体形成的作用及机理[D].南京:东南大学,2015.  
Wang G F. Effects of the decomposition of algal mats on the odorous black water agglomerate of eutrophic lake and its mechanism [D]. Nanjing: Southeast University, 2015.
- [ 15 ] 孙韶玲.水体黑臭演化过程及挥发性硫化物的产生机制初步研究[D].烟台:中国科学院烟台海岸带研究所,2017.  
Sun S L. The evolution of black-odor in river water and the formation mechanism of odorous sulfide [D]. Yantai: Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences, 2017.
- [ 16 ] 王国芳,李先宁,方洋,等.底泥对藻源型局部黑臭水体形成的影响[J].湖南大学学报(自然科学版),2014,41(12):102-108.  
Wang G F, Li X N, Fang Y, *et al.* Influence of sediment on the formation of algae-induced partial black and odorous water [J]. Journal of Hunan University (Natural Science), 2014, 41(12): 102-108.
- [ 17 ] Cheng C, Zhou Z, Qiu Z, *et al.* Enhancement of sludge reduction by ultrasonic pretreatment and packing carriers in the anaerobic side-stream reactor: performance, sludge characteristics and microbial community structure [J]. Bioresource Technology, 2018, 249: 298-306.
- [ 18 ] Canfield Jr D E, Linda S B, Hodgson L M. Relations between color and some limnological characteristics of Florida lakes[J]. Journal of the American Water Resources Association, 1984, 20(3): 323-329.
- [ 19 ] Yang S W, Jin W D, Wang S R, *et al.* Chlorophyll ratio analysis of the responses of algae communities to light intensity in spring and summer in Lake Erhai [J]. Environmental Earth Sciences, 2015, 74(5): 3877-3885.
- [ 20 ] Palshin N I, Zdorovenova G E, Zdorovenov R E, *et al.* Effect of under-ice light intensity and convective mixing on chlorophyll a distribution in a small Mesotrophic Lake [J]. Water Resources, 2019, 46(3): 384-394.
- [ 21 ] Laroche C, Fine F, Gervais P. Water activity affects heat resistance of microorganisms in food powders [J]. International Journal of Food Microbiology, 2005, 97(3): 307-315.

- [22] Szogi A A, Loughrin J H, Vanotti M B. Improved water quality and reduction of odorous compounds in anaerobic lagoon columns receiving pre-treated pig wastewater [ J ]. *Environmental Technology*, 2018, **39**(20): 2613-2621.
- [23] 曹欠欠, 于鲁冀, 薛金萍, 等. 城市污染河道水体复氧技术研究综述[J]. *环境工程*, 2015, **33**(1): 1-5.  
Cao Q Q, Yu L Y, Xue J P, *et al.* Review on city polluted river reaeration techniques[J]. *Environmental Engineering*, 2015, **33**(1): 1-5.
- [24] 杜晓丽, 高参, 李志霏. 强化复氧人工湿地对有机磷去除效果研究[J]. *水处理技术*, 2016, **42**(6): 106-109.  
Du X L, Gao C, Li Z F. Study on organic phosphate removal in the enhanced reoxygenation constructed wetland[J]. *Technology of Water Treatment*, 2016, **42**(6): 106-109.
- [25] Ostojic A, Rosado J, Miliša M, *et al.* Release of nutrients and organic matter from river floodplain habitats: simulating seasonal inundation dynamics[J]. *Wetlands*, 2013, **33**(5): 847-859.
- [26] Nedwell D B, Jickells T D, Trimmer M, *et al.* Nutrients in estuaries[J]. *Advances in Ecological Research*, 1999, **29**: 43-92.
- [27] 聂俊英, 邹伟国. 城市黑臭水体的功能恢复与水质改善案例分析[J]. *给水排水*, 2017, **43**(4): 34-36.  
Nie J Y, Zou W G. Case study on functional recovery and water quality improvement of urban black and odorous water bodies [J]. *Water & Wastewater Engineering*, 2017, **43**(4): 34-36.
- [28] 许宽, 刘波, 王国祥, 等. 苦草(*Vallisneria spiralis*)对城市缓流河道黑臭底泥理化性质的影响[J]. *环境科学*, 2013, **34**(7): 2642-2649.  
Xu K, Liu B, Wang G X, *et al.* Influence of *Vallisneria spiralis* on the physicochemical properties of black-odor sediment in urban sluggish river[J]. *Environmental Science*, 2013, **34**(7): 2642-2649.

## 《环境科学》多项引证指标名列前茅

2019年11月19日,中国科学技术信息研究所在中国科技论文统计结果发布会上公布了2018年度中国科技论文统计结果.统计结果显示《环境科学》2018年度总被引频次11 644,影响因子2.130,多项引证指标位居环境科学技术及资源科学技术类科技期刊前列.

## CONTENTS

Comparison of Three Receptor Models for Source Apportionment of PM <sub>2.5</sub> in Shanghai; Using Hourly Resolved PM <sub>2.5</sub> Chemical Composition Data	ZHOU Min (1997)
Impact of Differences in the Concentrations of Ozone on the Chemical Composition of Single Particles	WU Meng-xi, CHENG Chun-lei, HUANG Bo, et al. (2006)
Influence of Secondary Organic Coating on Hygroscopicity of a Sodium Chloride Core; Based on Micro-scale Single Particle Analysis	ZHANG Shu-jia, XU Liang, GUO Xin-mei, et al. (2017)
Comparative Analysis of Pollution Characteristics of Carbonaceous Aerosol Components in the Atmosphere Between Urban and Suburban Areas	LI Xin-yue, ZHANG Kai-shan, DENG Lin-li, et al. (2026)
Distribution Characteristics and Source Apportionment of Elements Bonded with PM <sub>2.5</sub> and PM <sub>10</sub> in Linyi	LU Ping, ZHAO Xue-yan, YIN Bao-hui, et al. (2036)
Characteristics and Sources of Microbial Aerosols in Urban and Mountainous Areas in Autumn and Winter in Xi'an, China	XIE Wen-wen, LU Rui, MU Fei-fei, et al. (2044)
Pollution Characteristics of Cooking Fumes, Particulates, and Non-methane Hydrocarbons in the Exhaust of Typical Beijing Restaurants	HE Wan-qing, WANG Tian-yi, SHAO Xia, et al. (2050)
PM <sub>2.5</sub> Concentration Influencing Factors in China Based on the Random Forest Model	XIA Xiao-sheng, CHEN Jing-jing, WANG Jia-jia, et al. (2057)
Spatio-temporal Variation of PM <sub>2.5</sub> Related Relationships in China from the Perspective of Air Pollution Regional Linkage Control and Prevention	YANG Wen-tao, HUANG Hui-kun, WEI Dong-sheng, et al. (2066)
Characteristics of Spatial and Temporal Evolution and Investigation of Air Pollution in Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area Based on Ground-Space Observation Data	WANG Yao-ting, LIANG Jia-cheng, ZHENG Zuo-fang, et al. (2075)
Hydrochemical Characteristics and Formation Causes of Ground Karst Water Systems in the Longzici Spring Catchment	TANG Chun-lei, ZHENG Xiu-qing, LIANG Yong-ping (2087)
Tempo-spatial and Retention Analysis of Total Phosphorus in the Three Gorges Reservoir	TANG Xiao-ya, TONG Si-chen, HUANG Guo-xian, et al. (2096)
Vertical Distribution Characteristics of Dissolved Oxygen and Chlorophyll a in Typical Tributaries During the Impoundment Period of the Three Gorges Reservoir	YANG Fan, JI Dao-bin, WANG Li-jing, et al. (2107)
Spatial-temporal Distribution of Nutrients in Hanfeng Lake After Official Operation	FU Shi, NI Jiu-pai, HE Bing-hui, et al. (2116)
Spatio-temporal Variations in the Characteristics of Water Eutrophication and Sediment Pollution in Baiyangdian Lake	LIU Xin, SHI Bin, MENG Jing, et al. (2127)
Spatial-temporal Distribution of Suspended Solids and Its Sedimentation Flux and Nutrients Effects in Xin'anjiang Reservoir, China	SHI Peng-cheng, ZHU Guang-wei, YANG Wen-bin, et al. (2137)
Bioavailability Characteristics of Chromophoric Dissolved Organic Matter in Lake Gaoyou, Lake Nansi, and Lake Dongping Under Different Hydrological Scenarios	ZHANG Liu-qing, SHI Yu, LI Yuan-peng, et al. (2149)
Succession Characteristics of Algae Functional Groups and Water Quality Assessment in a Drinking Water Reservoir	LI Yan-qing, HUANG Ting-lin, ZHANG Hai-han, et al. (2158)
Effect of Artificial Mixing on Temporal and Spatial Succession of Algae Community Structure in Jinpen Reservoir	WANG Chen-xu, HUANG Ting-lin, LI Nan, et al. (2166)
Spatial Distribution Characteristics and Driving Factors of Aerobic Denitrification Bacterial Community Structure from Baiyangdian Lake in Xiong'an New Area During the Winter Freezing Period	ZHOU Shi-lei, SUN Yue, YUE Ge-cheng, et al. (2177)
Spatial and Temporal Succession Characteristics of Aerobic Anoxygenic Photosynthesis Bacteria in a Stratified Reservoir	ZHANG Hai-han, WANG Yan, HUANG Ting-lin, et al. (2188)
Response of Chromophoric Dissolved Organic Matter Dynamics to Different Hydrological Scenarios in the Two Largest Freshwater Lakes Connected to the Yangtze River	GUO Yan-mi, LI Yuan-peng, SHI Yu, et al. (2198)
Distribution Characteristics and Influencing Factors of Chromophoric Dissolved Organic Matter in a Northern-Side River of the Qinling Mountains in Summer	LIN Zi-shen, HUANG Ting-lin, YANG Shang-ye, et al. (2210)
Distribution, Sources, and Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Tributary Waters of the Lower Reaches of the Yangtze River, China	JIA Tian-qi, LEI Rong-rong, WU Xiao-lin, et al. (2221)
Temporal and Spatial Occurrence of NSAIDs in Taihu Lake and Relevant Risk Assessment	LIAN Jie, LI Yi-fei, WANG Xiao-xuan, et al. (2229)
Occurrence and Ecological Risk of Eight Typical PhACs in Surface Water and Its Impact on <i>Daphnia magna</i>	XU Xin-lei, LIU Jian-chao, LU Guang-hua (2239)
Distribution Characteristics and Migration Rules of Pollutants in Sediments of Reservoirs with <i>Eucalyptus</i> Plantation, Southern China	ZHU Ya, LI Yi-ping, LUO Fan, et al. (2247)
Mechanism of Urban Black Odorous Water Based on Continuous Monitoring: A Case Study of the Erkeng Stream in Nanning	LI Yong-xin, WANG Wei, HE Mei, et al. (2257)
Relationship Between Source-Sink Landscape Pattern and Antibiotics in Surface Water in Peri-urban Watershed	LI Min, TANG Jian-feng, CHEN Li-ding, et al. (2264)
Molecular Chemo-diversity of the Dissolved Organic Matter Occurring in Urban Stormwater Runoff	NIE Yun-han, CHEN Hao, LI Lei, et al. (2272)
Regulating Effect and Mechanism of Calcite/Chlorapatite Mixture Addition on Transformation and Transport of Phosphorus in Sediments	BAI Xiao-yun, LIN Jian-wei, ZHAN Yan-hui, et al. (2281)
Stability of Ferrihydrite and Goethite Nanoparticles Under Different Environmental Conditions	WANG Zhi-qiao, MA Jie, CHEN Ya-li, et al. (2292)
Sunflower-Straw-Derived Biochar-Enhanced Fe(III)/S <sub>2</sub> O <sub>8</sub> <sup>2-</sup> System for Degradation of Benzoic Acid	SUN Peng, ZHANG Kai-kai, ZHANG Yu, et al. (2301)
Non-activated Peroxymonosulfate-Induced Degradation of Sulfasalazine; Kinetics and Mechanism Investigations	DING Xi, ZHANG Xue-wei, ZHOU Run-sheng, et al. (2310)
Pollution Characteristics and Removal Effects of Antibiotics in Wastewater from Large-Scale Pig Farms in Guizhou	YANG Zhao, LI Jiang, XIANG Fu-liang, et al. (2320)
Nitrogen Removal in Low-C/N Rural Sewage Treatment by Anoxic/Oxic Biofilter Packed with New Types of Fillers	ZHAO Yuan-zhe, YANG Yong-zhe, WANG Hai-yan, et al. (2329)
Nitrogen Removal Performance and Nitrogen/Carbon Balance of Oligotrophic Aerobic Denitrifiers	WEN Gang, WANG Tong, HUANG Ting-lin, et al. (2339)
Bacterial Community Shifts and Nitrogen Removal Characteristics for a SNAD Process Treating Anaerobic Digester Liquor of Swine Wastewater (ADLSW) in a Continuous-Flow Biofilm Reactor (CFBR)	QIN Jia-wei, XIN Xin, LU Hang, et al. (2349)
Characteristics of ANAMMOX Granular Sludge and Differences in Microbial Community Structure Under Different Culture Conditions	JIANG Ying, GUO Meng-lei, XIE Jun-xiang, et al. (2358)
Start-up of an Integrated Process of Denitrifying Phosphorus Removal Coupled with Partial Nitrification and Anaerobic Ammonium Oxidation	CHEN Ya, YIN Wen, ZHANG Xing-xing, et al. (2367)
Construction and Application of an Evaluation System for Soil Environmental Carrying Capacity	LI Xiao-nuo, DING Shou-kang, CHEN Wei-ping, et al. (2373)
Synthesis of Magnetic Biochar and Its Application in the Remediation of Heavy-Metal-Contaminated Soils	WANG Jun-nan, CHENG Shan-shan, ZHAN Wen-hao, et al. (2381)
Remediation of Heavy-Metal-Contaminated Soil by EGTA Washing Enhanced with Reduction Solubilization	ZHANG Jin-yong, ZHU Yu-ting, WANG Ming-xin, et al. (2390)
Toxicity of Chromium to Root Growth of Barley as Affected by Chromium Speciation and Soil Properties	FU Ping-nan, GONG Xiao-fei, LUO Li-yun, et al. (2398)
Effect of Fertilizer Reduction and Biochar Application on Soil Nitrogen Loss in Purple Upland	WANG Shu, WANG Zi-fang, LONG Yi, et al. (2406)
Relationship Between the Composition of Soil Aggregates and the Distribution of Organic Carbon Under Long-Term Abandoned Restoration	WANG Xing, ZHONG Ze-kun, ZHANG Xin-yi, et al. (2416)
Effects of Biochar Application on Soil Microbial Nutrient Limitations and Carbon Use Efficiency in Lou Soil	WANG Qiang, GENG Zeng-chao, XU Chen-yang, et al. (2425)
N <sub>2</sub> O Emissions from Tea Plantations with Sorghum Intercropping and Application of Big Urea Pills	ZHANG Ke-bin, LIU Xin-liang, KANG Man, et al. (2434)
Effects of Different Forest Vegetation Types on Soil Nitrogen-Related Microbial Communities and Functions in Jinyun Mountain	WANG Ying-yan, WANG Fu-hua, LUO Dong-hai, et al. (2445)
Nitrous Oxide Emission and Denitrifying Bacterial Communities as Affected by Drip Irrigation with Saline Water in Cotton Fields	GUO Hui-nan, MA Li-juan, HUANG Zhi-jie, et al. (2455)
Effect of Organic Matter Promotion on Nitrogen-Cycling Genes and Functional Microorganisms in Acidic Red Soils	CHU Cheng, WU Zhao-yue, HUANG Qian-ru, et al. (2468)
Effects of Simulated Acid Rain on Soil Fungi Diversity in the Transition Zone of Moso Bamboo and Broadleaf Forest	WANG Nan, PAN Xiao-cheng, WANG Chuan-kuan, et al. (2476)
Differences Between DNA- and RNA-Based Bacterial Communities in Marine Sediments	LI Ming-yue, YANG Yu-hong, MI Tie-zhu, et al. (2485)
Spatial Patterns and Spatial Autocorrelations of Wetland Changes in China During 2003-2013	ZHOU Ting, MA Jiao-jiao, XU Song-jun (2496)