

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第38卷 第8期

Vol.38 No.8

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

用于滤膜称重的饱和氯化镁溶液恒湿系统搭建与评估 李晓晓,张强,邓建国,蒋靖坤,郝吉明(3095)

钢铁工业排放颗粒物中碳组成的特征 张进生,吴建会,马威,冯银厂(3102)

常州市大气 PM_{2.5} 中 PAHs 污染特征及来源解析 顾爱军,刘佳澍,罗世鹏,毕承路,苏亚兰,叶招莲,盖鑫磊(3110)

兰州河谷盆地大气多环芳烃干沉降通量及来源 尉媛丽,刘攀亮,于周锁,高宏,毛潇萱,马建民,黄韬(3120)

株洲市大气降尘中元素特征及来源分析 王世豪,张凯,柴发合,钟学才,周广柱,杨晴,柯馨姝(3130)

传统北京烤鸭烤制过程中大气污染物的排放特征 徐敏,何万清,聂磊,韩力慧,潘涛,石爱军(3139)

基于车载测试的重型柴油车尾气典型烷烃排放特征 史纯珍,郝雪薇,申现宝,曹鑫悦,张伟,吴辉,姚志良(3146)

基于 wavelet-SVM 的 PM₁₀ 浓度时序数据预测 王平,张红,秦作栋,姚清晨,耿红(3153)

广州港船舶停泊工况排放因子实测及排放量初步估算 黄学良,张洲,杨威强,李晟,朱明,方华,何俊杰,陈俊文,万承浩,张艳利,刘国光,黄祖照,王宇骏,王新明(3162)

沙尘天气对生物气溶胶中总微生物浓度及粒径分布的影响 李鸿涛,祁建华,董立杰,高冬梅(3169)

典型生活垃圾处理设施恶臭排放特征及污染评价 芦会杰(3178)

杭州地区城区降雪中全氟化合物的污染特征 张明,唐访良,俞雅雯,徐建芬,陈金汉,余波,周姗,张伟(3185)

黄浦江流域典型污水中不同粒径胶体的三维荧光光谱特征 聂明华,晏彩霞,杨毅,周俊良,刘敏(3192)

漓江地表水体有机碳来源 赵海娟,肖琼,吴夏,刘凡,苗迎,蒋勇军(3200)

夏季热分层效应对典型岩溶水库水化学及溶解无机碳的影响 吴飞红,蒲俊兵,李建鸿,张陶,李丽,黄思宇(3209)

城市不同功能区地表水重金属污染特性比较:以宁波为例 徐美娟,童桂华,孙丹,李建新,虞效益(3218)

地下水主要组分水化学异常识别方法对比:以柳江盆地为例 张小文,何江涛,彭聪,张昌延,倪泽华(3225)

人为扰动背景下城郊溪流底质磷的生物-非生物吸收潜力分析 李如忠,叶舟,高苏蒂,郑悦(3235)

长江口低氧区沉积物中磷的形态及其环境意义 刘军,臧家业,冉祥滨,赵晨英,刘季花,王小静(3243)

三峡库区小流域不同土地利用类型“土壤-水体”氮磷含量特征及其相互关系 陈成龙,高明,木志坚,倪九派,祁乐(3254)

黄土高原降雨驱动下流域碳输移特征及其碳流失评估:以羊圈沟坝系流域为例 鄂馨卉,汪亚峰,高扬,陈利顶,陈世博,陈维梁(3264)

新型溴代苯酚类消毒副产物的氯化降解机制 李欢,李正魁,李爱民,周庆,王莹,潘咏(3273)

藻形态及混凝剂组成对混凝-超滤过程的影响 张大为,徐慧,王希,门彬,王东升,段晋明(3281)

汝溪河浮游硅藻功能群特征及其与环境因子相关性分析 向蓉,李巧玉,喻毅,张洪波,董聪聪,施军琼,吴忠兴(3290)

石岩水库叶绿素 a 时空分布及其影响因子分析 宋云龙,张金松,郭小雅,朱佳,王丽,陶益,张丽(3302)

不同湿地模型中根系微生物的多样性 王林,李冰,余家辉,朱加宾,朱健(3312)

北海湖微生物群落结构随季节变化特征 张雅洁,李珂,朱浩然,张洪勋(3319)

基于高通量测序的流化床生物滤器细菌群落结构分析 张海耿,宋红桥,顾川川,单建军,张宇雷,倪琦(3330)

高效反硝化菌和包埋填料性能及微生物群落分析 孟婷,杨宏(3339)

基于城市污水资源化的微藻筛选与污水预处理 韩松芳,金文标,涂仁杰,陈洪一(3347)

生物膜贴壁培养小球藻净化猪粪沼液废水的效果 王愿珠,程鹏飞,刘德富,刘天中(3354)

微气泡臭氧催化氧化-生化耦合工艺深度处理煤化工废水 刘春,周洪政,张静,陈晓轩,张磊,郭延凯(3362)

pH 冲击对海洋厌氧氨氧化菌处理含海水污水脱氮效能的影响 于德爽,周同,李津,王晓霞,吴国栋,王晓静(3369)

酒精废水部分亚硝化-厌氧氨氧化脱氮的可行性 周正,林兴,王凡,顾澄伟,沈婧,袁砚,金润(3377)

模拟废水中钼的微生物回收及其对亚甲基蓝的催化特性 康乃馨,朱能武,郭雯颖,何志心(3385)

采用颜色空间表征 ANAMMOX 启动与冲击过程 王利君,李志华,韩冬,张天宇,杨成建(3393)

CSTR 和 MBR 反应器的短程硝化快速启动 张婷,吴鹏,沈耀良,闫刚,徐乐中, Samwine Thomas(3399)

硫酸盐还原氨氧化体系中基质转化途径 完颜德卿,黄勇,毕贞,刘沂,姚鹏程,张文静(3406)

不同 TOC/NH₄⁺-N 对厌氧氨氧化脱氮效能的影响 王凡,刘凯,林兴,周正,李祥,黄勇(3415)

盐度对 EGSB 反应器的运行及厌氧颗粒污泥的影响 谭潇,黄靓,杨平,涂弈州(3422)

CANON 颗粒污泥工艺的启动与负荷提高策略 孙延芳,韩晓宇,张树军,李星,曹相生(3429)

胞外聚合物对活性污泥吸附去除全氟辛烷磺酸(PFOS)的影响 刘鑫彤,尹华,彭辉,李浩榕,杨萍萍,曹雅娟(3435)

不同施肥方式下紫色土 N₂O 与 NO_x 的排放特征 胡磊,刘韵,朱波(3442)

地膜覆盖对蔬菜地甲烷排放的影响 张凯莉,郝庆菊,冯迪,石将来,石孝均,江长胜(3451)

模拟的增温增雨对内蒙古温带草原土壤氨氧化微生物的影响 张翠景,沈菊培,孙翼飞,王军涛,杨中领,韩红艳,张丽梅,万师强,贺正(3463)

长期施肥酸性旱地土壤硝化活性及自养硝化微生物特征 徐白璐,钟文辉,黄欠如,秦红益,邓欢,韩成(3473)

施加碳酸钙对酸性土壤微生物氮循环的影响 郭安宁,段桂兰,赵中秋,唐仲,王扬扬,王伯勋(3483)

水稻不同生育期根际与非根际土壤胞外酶对施氮的响应 魏亮,汤珍珠,祝贞科,蔡观,葛体达,王久荣,吴金水(3489)

凋落物呼吸温度敏感性的变化特征及其影响因素 张彦军(3497)

西北干旱区农田土壤磁性特征及其环境意义 王新,夏敦胜,王博,陈红,刘浩(3507)

小麦秸秆驱动菱铁矿热解制备磁性生物炭及其吸附 Cd²⁺ 活性 张如玉,刘海波,邹雪华,庆承松,李梦雪,陈冬,陈天虎(3519)

交通污染暴露对 DNA 甲基化的影响 汪婷,丁锐,黄丹妮,祝子逸,章军,叶怀庄,徐迎春,金永堂(3529)

外接菌种对污泥堆肥效能及堆体细菌群落的影响 杨萍萍,尹华,彭辉,唐少宇,卢妙,刘皓(3536)

中国电动自行车动力铅酸蓄电池生命周期评价 刘巍,田金平,陈吕军(3544)

《环境科学》征稿简则(3280) 《环境科学》征订启事(3301) 信息(3353, 3472, 3535)

人为扰动背景下城郊溪流底质磷的生物-非生物吸收潜力分析

李如忠¹, 叶舟¹, 高苏蒂², 郑侠¹

(1. 合肥工业大学资源与环境工程学院, 合肥 230009; 2. 安徽新华学院土木与环境工程学院, 合肥 230031)

摘要: 为揭示土地利用变化对城郊溪流底质磷吸收的影响, 2016 年 6 ~ 11 月在合肥市城市边缘某一源头溪流逐月采集溪流底质样, 利用实验培养法分析人为扰动背景下溪流底质磷的生物与非生物吸收潜力及其变化特征. 结果表明: 底质磷的总吸收潜力和非生物吸收潜力都表现为夏季高于秋季; 毗邻排污口的 3 号采样点沉积物磷的总吸收潜力和非生物吸收潜力明显高于其它各采样点; 无论是夏季还是秋季, 6 个采样点底质磷的生物吸收贡献率都低于相应的非生物吸收贡献率, 而且彼此之间差异十分明显; 各采样点底质磷的吸收潜力、吸收贡献率的逐月变化态势, 表明土地利用变化引发的强烈人为扰动对溪流底质磷的生物吸收影响很大.

关键词: 磷的生物-非生物吸收; 底质; 人为扰动; 城郊溪流; 土地利用变化

中图分类号: X522 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2017)08-3235-08 DOI: 10.13227/j.hjx.201702008

Biotic and Abiotic Uptake of Phosphorus in Benthic Sediments of Suburban Streams Under Intense Human Disturbance Scenario

LI Ru-zhong¹, YE Zhou¹, GAO Su-di², ZHENG Xia¹

(1. School of Resources and Environmental Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China; 2. College of Civil and Environmental Engineering, Anhui Xinhua University, Hefei 230031, China)

Abstract: To reveal the impact of land use change on the phosphorus uptake in benthic sediments of suburban streams, a headwater stream in the urban fringe of Hefei City was selected and a set of benthic sediments was collected monthly from the chosen stream reach from June to November 2016. An incubation method was applied to explore the biotic and abiotic uptake of phosphorus in benthic sediments under intense human disturbance scenario. Results showed that the uptake potentials in summer were higher than those in autumn, both for total (including biotic and abiotic) and abiotic uptake of phosphorus. Furthermore, both of these uptakes were distinctly higher for the third sampling site, which is adjacent to the sewage outlet, than those for the other sites. For all six sampling sites, the contribution rate of biotic uptake of phosphorus was significantly greater than that of abiotic uptake, both in summer and autumn. The monthly variations in potentials and contribution rates of phosphorus uptake indicated that intense human disturbance via land use change had a great impact on the biotic uptake of phosphorus in benthic sediments of the suburban stream.

Key words: biotic and abiotic uptake of phosphorus; benthic sediments; human disturbance; suburban stream; land use change

源头溪流是河流水系统的重要组成部分,也是氮磷生源物质滞留、转化的重要场所和传输通道,对于降低汇流区内生源物质向下游的传输、调控下游水体水质具有十分重要的意义^[1,2].目前溪流水系统环境生态功能已为环境科学、环境水文地质学、水生态学等学科领域所关注^[3-5].在溪流水系统磷循环和滞留机制中,底质表层颗粒物的物理化学吸附和固着生物种群的生物吸收往往是不容忽视的因素^[6].总的来看,虽然针对水底固着生物磷吸收的研究已有一些^[7-9],但与非生物吸收(即物理化学吸附)相比,还显得较不充分^[10,11],尤其是对于磷循环中生物、非生物吸收相对贡献水平的定量刻画,还没有权威的、统一的结论^[12,13].为更好地执行国家《水污染防治行动计划》,从水环境保护出

发,不仅需要对河流水系统底质磷的滞留机制有清晰的认识,还需要对底质磷的生物-非生物吸收潜力有更为清楚地了解.

城市边缘地处城市与乡村之间的过渡地带,不同程度地兼有城市和乡村特征,是人为活动和土地利用变化十分活跃的地区.土地利用格局的巨大变化,深刻影响着城市边缘地区的河流形态、生境条件、产排污特征和水质状况等,从而影响河流生态系统和生源物质的滞留^[12,14,15].由于城郊结合部的城市排水系统不完善、环境监管不到位,部分污水

收稿日期: 2017-02-03; 修订日期: 2017-03-17

基金项目: 国家自然科学基金项目(51579061, 51179042)

作者简介: 李如忠(1970~),男,博士,教授,主要研究方向为水环境保护与非点源污染过程阻控技术, E-mail: Lrz1970@163.com

往往未经任何处理就直接排入水体,不仅恶化了河流水质,也加剧了水环境系统结构和组成的复杂性,使得该区域河流表层沉积物磷的生物-非生物吸收可能表现出某种特殊性.合肥市境内小河流较多,由此汇集的大部分氮、磷负荷经南淝河传输而进入巢湖西半湖,加剧了水体富营养化^[16].当前,国家正在着力推进生态清洁小流域建设,小流域环境生态问题颇为引人关注.为揭示土地利用变化对城郊溪流底质磷的生物-非生物吸收影响,并定量刻画磷的生物-非生物吸收贡献水平,本研究拟以合肥市城市边缘某一源头溪流为对象,就高强度人为扰动情景下底质磷的生物与非生物吸收潜力及其变化情况进行分析,以期为该地区小河流环境保护和磷负荷削减估算提供依据.

1 研究区概况

本研究溪流位于合肥市城区东北部边缘的磨店职教城附近,为南淝河主要支流——二十埠河的源头溪流之一.溪流两侧边缘为低矮丘陵岗地,东西宽约2km;溪流全长约4.0 km,其中经年过流的长度约2.5 km.由于城市建设向外扩张,汇水区土地利用类型正从耕地、人工林地转向城市建设用地,

特别是溪流左侧岗坡,已建成为合肥市职业教育中心,并有多所高校在此设立新校区.目前流域中、上游大部分土地处于待开发状态,城市道路已开始修建,下游城市建设基本成型.调查发现,除岗坡上高校园区外,没有明显的工厂或畜禽养殖场.溪流上有两个明显的污水排放口:一是溪流中游左侧某高校少量生活污水通过道路雨水管在横跨溪流的道路桥涵内排入溪流;二是溪流下游的职教城城镇污水处理厂尾水排放口.由于两个排污口污水均来自高校,因此水量、水质受高校假期影响存在很大的波动性.

本研究选择城镇污水厂尾水排放口以上渠段作为研究靶区,该段溪流长约2.0 km,仅有道路桥涵内一处生活污水排放口.整个采样期间,在溪流左侧与溪流走向大致平行方向,一条宽约30 m的柏油路面道路正处在路基开挖、施工中.2016年7月以后,合肥当地雨水较常年明显偏多,加之溪流沟渠与新建道路的垂直距离仅80~100 m,道路施工、挖沟堆积的新翻深层土壤受连续多场暴雨冲刷而进入溪流中,对溪流水质和底质造成很大冲击.2016年6~11月,对溪流开展每月1次的水质采样分析(水质与底质采样点位一一对应),平均结果见表1.

表1 溪流水质统计结果¹⁾

Table 1 Physicochemical parameters of water quality for the study stream reach

采样点	TP /mg·L ⁻¹	SRP /mg·L ⁻¹	TN /mg·L ⁻¹	NH ₄ ⁺ /mg·L ⁻¹	NO ₃ ⁻ /mg·L ⁻¹	COD /mg·L ⁻¹	EC /μS·cm ⁻¹	ORP /mV	pH
1	0.095	0.041	3.74	1.86	0.508	35.21	402	133	7.76
2	0.089	0.046	4.09	1.83	0.511	34.84	358	129	7.60
3	1.246	0.938	21.92	16.55	0.935	96.32	540	66	7.40
4	1.087	0.842	19.09	14.78	0.800	79.99	505	84	7.46
5	0.834	0.549	14.11	10.27	0.693	67.80	511	99	7.56
6	0.604	0.431	13.30	9.49	0.657	51.41	496	107	7.51

1) 整个研究渠段 TP、SRP 的平均值 ± 标准差分别为 (0.659 ± 0.512) mg·L⁻¹、(0.475 ± 0.415) mg·L⁻¹; TN、NH₄⁺、NO₃⁻ 分别为 (12.708 ± 8.019) mg·L⁻¹、(9.13 ± 6.33) mg·L⁻¹、(0.684 ± 0.204) mg·L⁻¹; COD、EC、ORP、pH 分别为 (60.928 ± 21.014) mg·L⁻¹、(469 ± 92) μS·cm⁻¹、(103 ± 24) mV、7.55 ± 0.24

2 材料与方法

2.1 采样点布设及样品预处理

在靶区渠段沿水流行进方向设置6个采样点位,依次记为1~6号.其中,采样点1、2位于溪流上游,溪流两侧主要为旱地农田抛荒地和人工林地,而且1号点位于芦苇生长茂盛渠段下方约10 m的坑潭中,其水流流速约为0.1 m·s⁻¹,2号点则处于浮水植物生长较为茂盛且断面稍宽的溪流弧形转弯处;3号采样点位于桥涵排污口下方30 m的水塘出

口上方,该水域是因修建桥涵而形成的面积约70 m²浅水塘;由于过水断面面积相对较大,2、3号采样点位水流流动性较差,4~6号采样点位于一般溪流沟渠段,且在4号点上方不远处有明沟与左侧80~100 m外正在修建的道路排水沟相通,4~6号采样点水流平均流速约为0.08 m·s⁻¹,6号点位于下方30 m为污水处理厂尾水排放口所在.

2016年6~11月,按每月1次的采样频率,在每个采样点1 m²范围内的多个点位,采集底质表层5~10 cm样品,并将其充分混合代表该点位.将每

个采样点的新鲜底质均分为两份,一份用于磷吸收的测定;另一份经自然风干后,用于底质磷形态及理化性质分析。由于7月发生多场大暴雨,不仅施工道路两侧新挖掘土壤被冲入溪流,溪流中沉积物也被大量冲走。从7月开始,4~6号采样点就已明显受到影响,特别是5、6号采样点河床几乎全部被厚厚的黄棕色细质黏土覆盖,直至11月末都没有明显改观。因此,8~11月采集的4~6号采样点底质样,实际上就是深层土壤经冲刷、淤积形成的冲积物,属于典型的高强度人为扰动带来的后果。

2.2 分析测试方法

将风干后的底质研磨过100目筛,测定磷形态及理化指标。其中,可交换态磷(Ex-P)、铁铝磷(Fe/Al-P)和钙磷(Ca-P)含量,采用SMT法测定;将0.2g土样置于离心管中,加入20mL 1 mol·L⁻¹ HCl溶液并恒温振荡(25℃, 220 r·min⁻¹) 16h后离心,取适量上清液测无机磷(IP)含量;底质pH值采用pH计测定(水土比=5:1);底质中有机质含量,采用烧失量(LOI)进行估算;将0.2g土样置于坩埚中,在马弗炉450℃下煅烧3h,待土样冷却至室温后转移到离心管中,然后加入20mL 3.5 mol·L⁻¹ HCl溶液并恒温振荡(25℃, 220 r·min⁻¹) 16h后离心,取适量上清液测总磷(TP)含量;对经灭菌锅消毒处理后的底质样,采用紫外分光光度法测定总氮(TN)含量。

2.3 磷的生物-非生物吸收潜力

参照文献[17],设计培养前后底质磷含量的确定方法。依据是否滴加饱和HgCl₂溶液,不妨将所有新鲜底质样划分为灭菌、未灭菌两组,并将经灭菌处理的泥样称作对照样。

2.3.1 培养前样本磷含量的测定

针对每个采样点,取4g左右的新鲜底质,并将其置于离心管中,加入40mL磷提取液(0.1 mol·L⁻¹ NaOH、0.1 mol·L⁻¹ NaCl),对照组另外加入2mL饱和HgCl₂溶液。将离心管加塞后置于25℃、200 r·min⁻¹的振荡器中振荡16h。振荡结束后,再将其置于3000 r·min⁻¹离心机中离心5min;取上清液2mL置于50mL比色管,对其定容到标线刻度,并滴加1mL抗坏血酸和2mL钼酸盐溶液,振荡摇匀15min后,利用分光光度计(700nm波长)测定磷酸盐浓度,再根据溶液体积换算得到新鲜底质(即培养前底质)相应的磷含量SRP_{initial}。

2.3.2 培养后样本磷含量的测定

对每个采样点位,在离心管中各注入4g左右

新鲜底质,并滴加20mL培养液(1 mg·L⁻¹ PO₄³⁻-P、50 mg·L⁻¹ CaCl₂溶液和30 mg·L⁻¹ MgCl₂溶液;其中PO₄³⁻-P溶液用磷酸二氢钾配制,且以磷的质量分数按1:4.28取KH₂PO₄),对照组中另加入2mL饱和HgCl₂溶液。将离心管加塞盖紧后置于35℃的恒温培养箱中静置培养24h。培养结束后,向各离心管中分别加入20mL磷提取液并盖塞振荡、离心,测定上清液的磷酸盐浓度,并根据溶液体积换算底质样本中可提取的磷含量SRP_{final}(扣除培养液加入的磷量)。再将底质样过滤,并将滤纸与底质一起置于烘箱中烘至恒重,确定底质烘干后的质量dw(事先将滤纸置于烘箱中烘至恒重并记录质量)。

2.3.3 底质磷的吸收潜力

底质磷的非生物吸收潜力及包含生物和非生物作用的底质磷的总吸收潜力,可根据下式进行计算^[17]:

$$SPU_{live} = \frac{(SRP_{initial}^{live} - SRP_{final}^{live})}{dw \times t} \quad (1)$$

$$SPU_{kill} = \frac{(SRP_{initial}^{kill} - SRP_{final}^{kill})}{dw \times t} \quad (2)$$

式中,SPU_{live}、SPU_{kill}分别代表总吸收潜力和非生物吸收潜力,μg·(g·h)⁻¹;SRP_{initial}^{live}、SRP_{initial}^{kill}分别表示培养前未滴加和滴入HgCl₂提取的磷含量,μg;SRP_{final}^{live}、SRP_{final}^{kill}分别表示培养后未滴加和滴入HgCl₂提取的磷含量,μg;dw表示底质的烘干质量,g;t表示培养时间,h。

由于SPU_{kill}代表非生物吸收效应(也即物理化学吸附作用),而SPU_{live}综合了生物和非生物吸收作用,因此SPU_{live}与SPU_{kill}差值可以体现磷的生物吸收,不妨记作SPU_{biotic}。

3 结果与分析

3.1 底质磷形态及其理化特征

6个采样点夏季(6~8月)、秋季(9~11月)表层底质磷形态及基本理化特性见表2。

不难看出,3号采样点位底质氮、磷和有机质含量均明显高于其它各采样点,而4~6号采样点TN、TP和有机质含量,甚至低于未受点源污染影响的采样点1、2,尤其是秋季时节TN、TP断崖式地下降,表明人工扰动土壤在强降雨冲刷、搬运作用下给溪流底质的物质组成和理化性质带来了显著影响。事实上,受生活污水的影响,6月4~6号采样点底质TP含量分别高达483.80、317.03和401.27 mg·kg⁻¹,明显高于上部的1、2号采样点,即便是7月以后,4~6号采样点Ex-P、Ca-P和LOI也与1、2

号点位非常接近,这与1、2号采样点底质主要来自汇水区水土流失有很大关系。另外,3号采样点夏

季TP明显低于秋季,可能与7、8月高校放假,生活污水补给显著减少有关。

表2 底质磷形态及其基本理化特性

Table 2 Phosphorus forms and physicochemical properties of the benthic sediments

采样点	季节	Ex-P /mg·kg ⁻¹	Fe/Al-P /mg·kg ⁻¹	Ca-P /mg·kg ⁻¹	IP /mg·kg ⁻¹	TP /mg·kg ⁻¹	TN /mg·kg ⁻¹	LOI /%	pH
1	夏	1.31	86.24	38.79	247.11	327.49	1203.52	7.02	6.02
	秋	7.65	93.34	44.29	162.30	278.31	1216.22	4.23	6.96
2	夏	2.34	72.94	36.49	235.65	302.22	1236.86	5.19	6.89
	秋	10.47	105.72	56.21	209.29	289.23	1227.45	5.01	7.02
3	夏	7.50	238.45	91.97	605.29	741.86	2017.33	10.07	6.78
	秋	30.96	237.99	168.76	531.94	886.31	1935.04	7.22	7.04
4	夏	2.13	72.71	33.97	229.92	226.54	1549.21	5.13	7.15
	秋	5.38	49.10	35.35	118.74	197.86	792.38	2.80	7.65
5	夏	4.13	50.71	26.64	186.94	241.94	1455.59	4.22	7.06
	秋	4.00	36.72	56.44	119.32	180.04	771.02	2.98	7.80
6	夏	3.99	54.37	32.83	240.24	316.51	1364.96	5.45	7.13
	秋	3.80	37.87	47.04	100.41	181.19	748.79	2.90	7.95

3.2 底质磷的吸收潜力

各采样点底质磷的总吸收潜力 SPU_{live} 、非生物吸收潜力 SPU_{kill} 逐月变化情况,见图1。可以看出,毗邻排污口的3号采样点各月份沉积物磷的总吸收潜力 SPU_{live} 都明显高于其它各采样点,4号采样点仅7月的 SPU_{live} 相对较高一些,其他月份表现并不突出。而且,4~6号采样点绝大多数月份相应的 SPU_{live} 值大小接近,且9~11月磷的总吸收潜力都稍低于排污口上方的1、2号采样点。就非生物吸收而言,仍以3号采样点位 SPU_{kill} 表现最为突出,该点位各月份 SPU_{kill} 值都较其它5个采样点相应月份非生物吸收潜力更大。4~6号采样点除在7月有一定差异外,彼此其它各月份基本都十分接近,而且三者8~11月 SPU_{kill} 基本都低于1号点,与2号点相比大体相当。总体上,6个采样点位各月磷的非生物吸收潜力都低于相应的总吸收潜力。而且,除2号采样点时间规律性稍差以外,其它各采样点都表现为

8~11月磷吸收潜力逐月缓慢下降的变化态势。大体上,夏季较秋季磷的总吸收潜力和非生物吸收潜力更高一些。

在排污口下方的4个采样点中,仅3号点位沉积物未受道路施工泥土冲刷覆盖的影响。从底质TP含量来看,从7月开始4~6号采样点基本都处于 $150 \sim 200 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 水平,与该汇流区域土壤磷素背景值^[18,19]十分接近。根据碳含量测试结果,1~3号采样点底质总碳(TC)含量分别为1.97、2.65和 $10.33 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,4~6号采样点则几乎低于检测限,这与4~6号采样点底质主要来自道路施工现场的土壤流失有关系。由于深翻土壤中几乎没有生物质残体,因此土壤碳含量很低。总体上,似乎表现出底质污染程度越重, SPU_{live} 、 SPU_{kill} 值越大的特点,也就是说水体污染增强了底质磷的吸收潜力。

根据 $SPU_{biotic} = SPU_{live} - SPU_{kill}$,计算夏、秋季各采样点底质磷的生物吸收潜力,结果见表3。

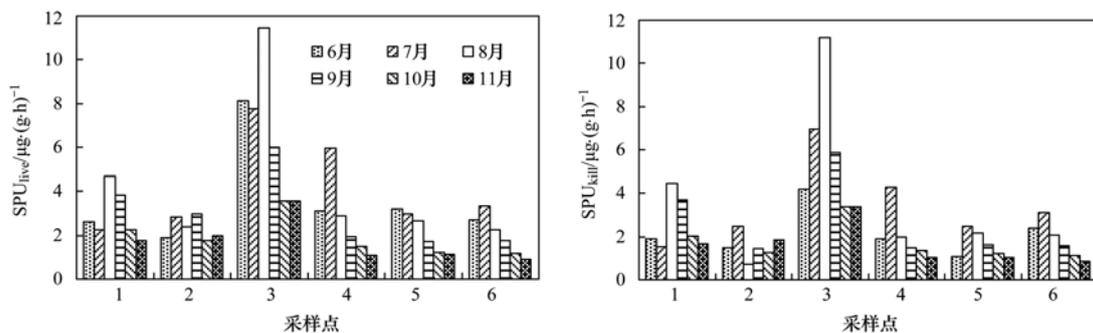


图1 各采样点位底质磷的吸收潜力变化情况

Fig. 1 Monthly variations of uptake potential of phosphorus in the benthic sediments

表3 夏秋季各采样点位底质磷的吸收潜力

Table 3 Uptake potentials of phosphorus in the six benthic sediments in summer and autumn

项目	季节	1号	2号	3号	4号	5号	6号
SPU _{live} /μg·(g·h) ⁻¹	夏	3.18	2.37	9.10	3.98	2.95	2.77
	秋	2.61	2.24	4.38	1.51	1.36	1.27
SPU _{kill} /μg·(g·h) ⁻¹	夏	2.64	1.57	7.44	2.72	1.91	2.52
	秋	2.48	1.52	4.21	1.31	1.29	1.19
SPU _{biotic} /μg·(g·h) ⁻¹	夏	0.54	0.80	1.66	1.26	1.04	0.24
	秋	0.13	0.72	0.17	0.21	0.07	0.09

由表3可见,无论是磷的生物吸收、非生物吸收或是总吸收,各采样点都表现为夏季吸收水平高于秋季。5、6号采样点秋季生物吸收潜力明显低于相应的夏季吸收水平,更显著低于其它各采样点,这可能与深层土壤冲积物中“碳”源不足有很大的关系。3号采样点虽然底质的有机质、TC含量都相对较高,但由于污染过重,底质处于厌氧或缺氧状态,抑制了磷的生物吸收,也可能促使底质中磷的释放^[6],使得3号采样点磷的生物吸收潜力显著逊色于非生物吸收能力。但也正是由于长期处于厌氧或缺氧状态,导致3号采样点底质中部分Fe³⁺离子可以被还原成Fe²⁺离子,使得部分磷从沉积物中释放出来而进入间隙水,因而也就释放出了更多的磷吸附位点,这或许是3号点位总吸收潜力和非生物吸收潜力相对偏高的主要原因。另外,3号采样点的底质较为疏松、有机质含量高,风干后沉积物样的物理性状明显呈现粒度较小的特点,由于较小粒径具有较大的比表面积,使得颗粒物可以为磷提供更多的吸附位点,这可能也是3号采样点底质磷吸附能力相对较强的重要原因之一。Lottig等^[17]采用与本研究相同的技术方法,针对河床不同粒度颗粒构成情形的源头溪流沉积物磷的生物与非生物潜力进行分析,得到沙质河床沉积物SPU_{live}、SPU_{kill}值相对最高,6个点位的平均值分别达23.0 μg·(g·h)⁻¹、24.0 μg·(g·h)⁻¹,块石河床分别为14.5 μg·(g·h)⁻¹、9.8 μg·(g·h)⁻¹,岩石河床则分别为

12.5 μg·(g·h)⁻¹、5.0 μg·(g·h)⁻¹,虽然都高于本研究的6个采样点,但彼此悬殊并不显著,特别是与块石、岩石河床相比。

3.3 相对贡献分析

根据各采样点SPU_{live}、SPU_{kill}和SPU_{biotic},可以进一步估算底质中生物、非生物吸收对于磷的相对吸收贡献。不妨以(SPU_{biotic}/SPU_{live})×100%表示磷的生物吸收贡献率,而以(SPU_{kill}/SPU_{live})×100%表征底质磷的非生物吸收贡献率。于是,得到6个采样点位的生物、非生物吸收贡献逐月变化情况,见图2。

不难看出,受生活污水影响的3~6号采样点6月沉积物磷的生物吸收贡献率都较其它各月份更高一些,特别是3、5号采样点表现尤为突出,这似乎也从另一侧面说明人为扰动带来的水土流失给溪流底质磷的生物吸收贡献影响很大。总的来看,绝大多数采样点的8~11月生物吸收贡献率波动性不是很大,而且生物吸收贡献率也不很高,尤其是1、3、5和6号采样点表现更为明显。而2、4号采样点各月份的生物吸收贡献率相对都较高一些,特别是2号采样点不仅8月生物吸收贡献占比在所有情景中最高,9月生物吸收贡献率也相当高。与生物吸收贡献率显著的变化性相比,非生物吸收贡献率变化则相对较为简单,半数点位也仅在6月或8月较低一些,其他月份非生物吸收贡献占比大体相当。

表4展示了夏、秋季各采样点位的生物与非生物吸收平均贡献水平。不难看出,采样点1、3、4、5

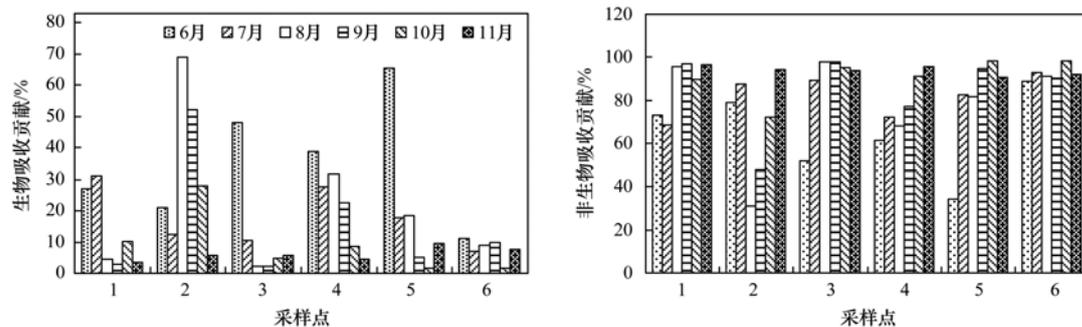


图2 各采样点磷的生物与非生物吸收贡献率逐月变化

Fig. 2 Monthly variations in contribution rates of biotic and abiotic uptake of phosphorus

的秋季生物吸收贡献率明显低于夏季,相应的非生物吸收贡献则恰好相反. 而 2、6 号采样点在春、秋季节差异不大. 总体上,无论是夏季还是秋季,6 个

采样点位底质磷的生物吸收贡献率都低于非生物吸收贡献率,且彼此之间生物吸收与非生物吸收贡献率的相对差异性较为显著.

表 4 夏秋季磷的生物与非生物吸收贡献率/%

Table 4 Contribution rates of biotic and abiotic uptake of phosphorus in summer and autumn/%

季节	贡献率	1 号	2 号	3 号	4 号	5 号	6 号
夏季	生物吸收贡献率	16.89	33.66	18.21	31.60	35.21	8.80
	非生物吸收贡献率	83.11	66.34	81.79	68.40	64.79	91.20
秋季	生物吸收贡献率	5.10	32.08	3.98	13.68	5.38	6.80
	非生物吸收贡献率	94.90	67.92	96.02	86.32	94.62	93.12

4 讨论

从 7 月开始,4~6 号采样点位采集到的河流底质已不再是一般意义的沉积物,而是新建道路及两侧开挖沟渠产生的深层土壤经雨水冲刷、搬运和沉积而形成的冲积物. 从连续数月采集的溪流底质情况看,无论是底质的颜色、气味,还是 TN、TP 和有机质含量,7 月以后 4~6 号点位采集的溪流底质都与 6 月有显著的差异性,这与 1~3 号采样点位明显不同,春、秋季沉积物磷的生物、非生物吸收贡献率没有展示出明显的规律性,可能就与强烈的人为干扰最终导致的采样点底质变化有直接关系. 由于深部土壤与通常的水体沉积物在理化性质和生物特征等方面存在很大的差异性,因此 4~6 号采样点底质应该不能代表溪流自然沉积物. 当然,相应地生物、非生物吸收潜力也就不能简单地作为沉积物具有的磷吸收能力. 尽管如此,作为土地利用类型变化剧烈、人为扰动影响显著的城乡交错带地区,来自雨水冲刷输入河流的地表土壤或深层扰动土壤颇为常见,因此上述结果颇具有代表性,可以很好地展示城郊溪流不同空间河段底质磷吸收潜力的变化性和不确定性.

目前,有关河流磷素滞留和循环过程的生物、非生物贡献的报道已有一些,但总体上仍较为初步,特别是在对相关结果的表征方面,都还存在很大的差异性. 如 Khoshmanesh 等^[6]以湿地沉积物为对象,仅以 KH_2PO_4 为培养液 ($1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \text{ PO}_4^{3-} \text{-P}$),得到沉积物磷的总吸收率达 68%,生物吸收率达到 9%;若同时添加葡萄糖作为碳源,得到沉积物磷的总吸收率高达 99%,生物吸收率达 40%;而以醋酸酯作为碳源,沉积物磷的总吸收率则高达 99%,生物吸收率也达到 45%. Stutter 等^[13]对污水排污影响的河流磷循环研究推算得到,来自水底藻类、细菌和沉积物作用的磷的净吸收能力分别达 $0.2 (\pm$

$0.1)$ 、 $0.4 (\pm 0.3)$ 和 $1.0 (\pm 0.9) \text{ mmol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$. 显然,由于量纲不同,上述结果往往很难与本研究结果进行直接比较. 当然,Stutter 等^[13]以藻类和细菌为主体的生物因素可以解释 37.5% 的磷的净吸收、沉积物吸附(即非生物吸收)作用达 62.5% 的结论,仍具有很好的借鉴价值. Aldridge 等^[12]针对岩石附生生物群落对于城乡结合部溪流磷滞留潜力进行实验研究,结果发现非生物因素可以解释 70% 以上的磷吸收,而生物贡献则不足 30%,这也与本研究结果具有很大的相似性. 一般来说,沉积物的非生物吸收不仅包括沉积物颗粒表面的吸附作用,也有水底生物有机体(如生物膜多糖基质)的吸附贡献^[13]. 采样点 1~3 沉积物属于正常沉积形成的堆积物,生物滞留所需要的碳、氮、磷等养分含量较为丰富,沉积物表层生物膜生长相对较为完整. 因此可以推断,采样点 1~3 沉积物磷的生物因素贡献可能会更高一些.

通常认为,有机质分解过程中形成的腐殖质可以形成胶膜覆被在黏粒矿物、氧化铁、铝及碳酸钙等无机物的表面,从而减轻这些无机物对磷的固定^[20],甚至对沉积物中磷的释放有明显的促进作用^[21]. 但也有认为,腐殖质可以和铁、铝等形成有机无机复合体,为无机磷提供吸附位点,从而增强对磷的吸附^[22(24)]. 就 3 号采样点位而言,可以认为,由于外源输入的生活污水具有较高的养分浓度和有机质含量,导致吸附点位早已处于饱和状态,影响了对磷的进一步吸收. 但也应看到,无论是依据实验室封闭装置(瓶、罐、槽等),还是利用室外开放渠道和河流原位技术,传统的磷循环研究方法几乎都未能清楚地展示磷滞留中生物与非生物吸收的相对贡献占比^[13]. 水底沉积物是上覆水体中磷的一个重要“汇”,对于削减上覆水体中磷含量,发挥着极为重要的作用^[25]. 因此,针对河流沉积物磷的生物、非生物吸收潜力及其相对贡献水平的定量刻画

意义显著,这也是河流磷循环与滞留机制研究难以回避的^[13].

5 结论

(1)无论是生物吸收潜力、非生物吸收潜力还是总吸收潜力,各采样点基本都表现出夏季高于秋季的特点,表明人为扰动引发的水土流失和淤积对底质磷吸收影响较为明显。

(2)各采样点底质磷的生物与非生物吸收贡献率的逐月变化态势,表明人为扰动带来的水土流失对溪流底质磷的生物吸收贡献率影响很大。

(3)无论是夏季还是秋季,6个采样点位底质磷的生物吸收贡献率都低于相应的非生物吸收贡献率,而且彼此之间的差异性较为明显。

(4)毗邻排污口的3号采样点各月沉积物磷的总吸收潜力和非生物吸收潜力,都明显较其它各采样点高一些,表现出水体污染使得底质磷吸收潜力增大的现象,可能与该点位底质长期处于厌氧或缺氧的环境条件以及相对较高的有机质含量有一定关系。

参考文献:

- [1] Alexander R B, Boyer E W, Smith R A, *et al.* The role of headwater streams in downstream water quality[J]. *Journal of the American Water Resources Association*, 2007, **43**(1): 41-59.
- [2] Dodds W K, Oakes R M. Headwater influences on downstream water quality[J]. *Environmental Management*, 2008, **41**(3): 367-377.
- [3] Bernal S, von Schiller D, Martí E, *et al.* In-stream net uptake regulates inorganic nitrogen export from catchments under base flow conditions[J]. *Journal of Geophysical Research*, 2012, **117**: G00N05, doi: 10.1029/2012JG001985.
- [4] Bott T L, Newbold J D. Ecosystem metabolism and nutrient uptake in Peruvian headwater streams[J]. *International Review of Hydrobiology*, 2013, **98**(3): 117-131.
- [5] Hope A J, McDowell W H, Wollheim W M. Ecosystem metabolism and nutrient uptake in an urban, piped headwater stream[J]. *Biogeochemistry*, 2014, **121**(1): 167-187.
- [6] Khoshmanesh A, Hart B T, Duncan A, *et al.* Biotic uptake and release of phosphorus by a wetland sediment[J]. *Environmental Technology*, 1999, **20**(1): 85-91.
- [7] McCormick P V, Shuford R B E III, Chimney M J. Periphyton as a potential phosphorus sink in the everglades nutrient removal project[J]. *Ecological Engineering*, 2006, **27**(4): 279-289.
- [8] Scinto L J, Reddy K R. Biotic and abiotic uptake of phosphorus by periphyton in a subtropical freshwater wetland[J]. *Aquatic Botany*, 2003, **77**(3): 203-222.
- [9] Wolfe J E III, Lind O T. Influence of suspended clay on phosphorus uptake by periphyton[J]. *Hydrobiologia*, 2008, **610**(1): 211-222.
- [10] 王而力, 王嗣淇. 西辽河沉积物有机组分对磷的吸附影响[J]. *中国环境科学*, 2012, **32**(4): 687-694.
- [11] 金晓丹, 吴昊, 陈志明, 等. 长江河口水库沉积物磷形态、吸附和释放特性[J]. *环境科学*, 2015, **36**(2): 448-456.
- [12] Aldridge K T, Brookes J D, Ganf G G. Changes in abiotic and biotic phosphorus uptake across a gradient of stream condition[J]. *River Research and Applications*, 2010, **26**(5): 636-649.
- [13] Stutter M I, Demars B O L, Langan S J. River phosphorus cycling: separating biotic and abiotic uptake during short-term changes in sewage effluent loading[J]. *Water Research*, 2010, **44**(15): 4425-4436.
- [14] Johnson L T, Tank J L, Arango C P. The effect of land use on dissolved organic carbon and nitrogen uptake in streams[J]. *Freshwater Biology*, 2009, **54**(11): 2335-2350.
- [15] von Schiller D, Martí E, Riera J L, *et al.* Influence of land use on stream ecosystem function in a Mediterranean catchment[J]. *Freshwater Biology*, 2008, **53**(12): 2600-2612.
- [16] 李如忠, 杨继伟, 钱靖, 等. 合肥城郊典型源头溪流不同渠道形态的氮磷滞留特征[J]. *环境科学*, 2014, **35**(9): 3365-3372.
- [17] Li R Z, Yang J W, Qian J, *et al.* Characteristics of nitrogen and phosphorus retention in two different channel forms in a typical headwater stream in the suburb of Hefei City, China[J]. *Environmental Science*, 2014, **35**(9): 3365-3372.
- [18] Lottig N R, Stanley E H. Benthic sediment influence on dissolved phosphorus concentrations in a headwater stream[J]. *Biogeochemistry*, 2007, **84**(3): 297-309.
- [19] 樊慧慧, 李如忠, 裴婷婷, 等. 合肥城郊典型农业小流域土壤磷形态及淋失风险分析[J]. *环境科学*, 2016, **37**(1): 148-155.
- [20] Fan H H, Li R Z, Pei T T, *et al.* Soil phosphorus forms and leaching risk in a typically agricultural catchment of Hefei suburban[J]. *Environmental Science*, 2016, **37**(1): 148-155.
- [21] 裴婷婷, 李如忠, 高苏蒂, 等. 合肥城郊典型农田溪流水系统沉积物磷形态及释放风险分析[J]. *环境科学*, 2016, **37**(2): 548-557.
- [22] Pei T T, Li R Z, Gao S D, *et al.* Phosphorus fractions and release risk in surface sediments of an agricultural headwater stream system in Hefei suburban, China[J]. *Environmental Science*, 2016, **37**(2): 548-557.
- [23] Kastelan-Macan M, Petrovic M. The role of fulvic acids in phosphorus sorption and release from mineral particles[J]. *Water Science and Technology*, 1996, **34**(7-8): 259-265.
- [24] 迟杰, 赵旭光, 董林林. 有机质和低相对分子质量有机酸对沉积物中磷吸附/解吸行为的影响[J]. *天津大学学报*, 2011, **44**(11): 968-972.
- [25] Chi J, Zhao X G, Dong L L. Effects of organic matter and low molecular weight organic acids on sorption and desorption of phosphorus on sediments[J]. *Journal of Tianjin University*, 2011, **44**(11): 968-972.
- [26] Gerke J, Hermann R. Adsorption of orthophosphate to humic-Fer-

- complexes and to amorphous Fe-oxide [J]. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 1992, **155**(3): 233-236.
- [23] Yuan G, Lavkulich L M. Phosphate sorption in relation to extractable iron and aluminum in spodosols [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1994, **58**(2): 343-346.
- [24] 王而力, 王嗣淇, 江明选. 沉积物不同有机矿质复合体对磷的吸附特征影响 [J]. *中国环境科学*, 2013, **33**(2): 270-277.
Wang E L, Wang S Q, Jiang M X. Effect of organo-mineral complexes on adsorption characteristic of phosphorus on sediment [J]. *China Environmental Science*, 2013, **33**(2): 270-277.
- [25] 揣小明, 杨柳燕, 程书波, 等. 太湖和呼伦湖沉积物对磷的吸附特征及影响因素 [J]. *环境科学*, 2014, **35**(3): 951-957.
Chuai X M, Yang L Y, Cheng S B, *et al.* Characteristics and influencing factors of phosphorus adsorption on sediment in Lake Taihu and Lake Hulun [J]. *Environmental Science*, 2014, **35**(3): 951-957.

环 境 科 学

CONTENTS

Evaluation and Development of a Weighing Chamber by Using Saturated MgCl ₂ Solution	LI Xiao-xiao, ZHANG Qiang, DENG Jian-guo, <i>et al.</i>	(3095)
Characteristics Research on Carbonaceous Component of Particulate Matter Emitted from Iron and Steel Industry	ZHANG Jin-sheng, WU Jian-hui, MA Xian, <i>et al.</i>	(3102)
Pollution Characteristics and Source Identification of PAHs in Atmospheric PM _{2.5} in Changzhou City	GU Ai-jun, LIU Jia-shu, LUO Shi-peng, <i>et al.</i>	(3110)
Atmospheric Dry Deposition Fluxes and Sources of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Lanzhou Valley, Northwest China	JU Yuan-li, LIU Pan-liang, YU Zhou-suo, <i>et al.</i>	(3120)
Characteristics and Sources of Elements in Atmospheric Dust Fall in Zhuzhou City, Central China	WANG Shi-bao, ZHANG Kai, CHAI Fa-he, <i>et al.</i>	(3130)
Atmospheric Pollutant Emission Characteristics from the Cooking Process of Traditional Beijing Roast Duck	XU Min, HE Wan-qing, NIE Lei, <i>et al.</i>	(3139)
Exhaust Emission Characteristics of Typical Alkanes from Heavy-Duty Diesel Vehicles Based on a Portable Emission Measurement System	SHI Chun-zhen, HAO Xue-wei, SHEN Xian-bao, <i>et al.</i>	(3146)
PM ₁₀ Concentration Forecasting Model Based on Wavelet-SVM	WANG Ping, ZHANG Hong, QIN Zuo-dong, <i>et al.</i>	(3153)
Emission Factors and Preliminary Emission Estimates of Air Pollutants from Ships at Berth in the Guangzhou Port	HUANG Xue-liang, ZHANG Zhou, YANG Wei-qiang, <i>et al.</i>	(3162)
Influence of Dust Events on the Concentration and Size Distribution of Microorganisms in Bioaerosols	LI Hong-tao, Qi Jian-hua, DONG Li-jie, <i>et al.</i>	(3169)
Odor Emission Characteristics and Pollution Evaluation from Typical Household Rubbish Disposal Facilities	LU Hui-jie	(3178)
Perfluorinated Compounds in Snow from Downtown Hangzhou, China	ZHANG Ming, TANG Fang-liang, YU Ya-yun, <i>et al.</i>	(3185)
Fluorescence Characterization of Fractionated Colloids in Wastewaters Received by Huangpu River	NIE Ming-hua, YAN Cai-xia, YANG Yi, <i>et al.</i>	(3192)
Sources of Organic Carbon in the Surface Water of Lijiang River	ZHAO Hai-juan, XIAO Qiong, WU Xia, <i>et al.</i>	(3200)
Impacts of Thermal Stratification on the Hydrochemistry and Dissolved Inorganic Carbon in a Typical Karst Reservoir in Summer	WU Fei-hong, PU Jun-bing, LI Jian-hong, <i>et al.</i>	(3209)
Comparison of Heavy Metal Contamination Characteristics in Surface Water in Different Functional Areas; A Case Study of Ningbo	XU Mei-juan, TONG Gui-hua, SUN Dan, <i>et al.</i>	(3218)
Comparison of Identification Methods of Main Component Hydrochemical Anomalies in Groundwater; A Case Study of Liujiang Basin	ZHANG Xiao-wen, HE Jiang-tao, PENG Cong, <i>et al.</i>	(3225)
Biotic and Abiotic Uptake of Phosphorus in Benthic Sediments of Suburban Streams Under Intense Human Disturbance Scenario	LI Ru-zhong, YE Zhou, GAO Su-di, <i>et al.</i>	(3235)
Sedimentary Phosphorus Speciation in the Coastal Hypoxic Area of Changjiang Estuary and Its Environmental Significance	LIU Jun, ZANG Jia-ye, RAN Xiang-bin, <i>et al.</i>	(3243)
Characteristics and the Relationship of Nitrogen and Phosphorus in Soil and Water of Different Land Use Types of a Small Watershed in the Three Gorges Reservoir Area	CHEN Cheng-long, GAO Ming, MU Zhi-jian, <i>et al.</i>	(3254)
Characteristics of Carbon Transportation Under Rainfall Events and Associated Carbon Loss Evaluation in Loess Plateau, China; A Case Study of Yangjuangou Dam Watershed	E Xin-hui, WANG Ya-feng, GAO Yang, <i>et al.</i>	(3264)
New Bromated Phenolic Disinfection Byproducts: Mechanism of Their Decomposition During Chlorination	LI Huan, LI Zheng-kui, LI Ai-min, <i>et al.</i>	(3273)
Effects of Algal Morphology and Al Species Distribution on the Coagulation-Ultrafiltration Process	ZHANG Da-wei, XU Hui, WANG Xi, <i>et al.</i>	(3281)
Functional Group Characteristics of Planktonic Diatoms and Their Relationship with Environmental Factors in the Ruxi River	XIANG Rong, LI Qiao-yu, YU Yi, <i>et al.</i>	(3290)
Spatiotemporal Variations of Chlorophyll a and Its Relationship to Environmental Factors in Shiyan Reservoir	SONG Yun-long, ZHANG Jin-song, Guo Xiao-ya, <i>et al.</i>	(3302)
Rhizosphere Microbial Diversity in Different Wetland Microcosms	WANG Lin, LI Bing, YU Jia-hui, <i>et al.</i>	(3312)
Community Structure of Microorganisms and Its Seasonal Variation in Beihai Lake	ZHANG Ya-jie, LI Ke, ZHU Hao-ran, <i>et al.</i>	(3319)
Analysis of Microbial Diversity in a Fluidized-Sand Biofilter Based on High-Throughput Sequencing Technology	ZHANG Hai-geng, SONG Hong-qiao, GU Chuan-chuan, <i>et al.</i>	(3330)
Analysis of High-efficiency Denitrifying Bacteria and Embedding Filler Performance and Microflora	MENG Ting, YANG Hong	(3339)
Selection of Microalgae for Biofuel Using Municipal Wastewater as a Resource	HAN Song-fang, JIN Wen-biao, TU Ren-jie, <i>et al.</i>	(3347)
Purification Effect of Piggery Wastewater with <i>Chlorella pyrenoidosa</i> by Immobilized Biofilm-Attached Culture	WANG Yuan-zhu, CHENG Peng-fei, LIU De-fu, <i>et al.</i>	(3354)
Combination of Microbubble Catalytic Ozonation and Biological Process for Advanced Treatment of Biotreated Coal Chemical Wastewater	LIU Chun, ZHOU Hong-zheng, ZHANG Jing, <i>et al.</i>	(3362)
Effect of pH Shock on Nitrogen Removal Performance of Marine Anaerobic Ammonium-Oxidizing Bacteria Treating Saline Wastewater	YU De-shuang, ZHOU Tong, LI Jin, <i>et al.</i>	(3369)
Removal of Nitrogen from Alcohol Wastewater by PN-ANAMMOX	ZHOU Zheng, LIN Xing, WANG Fan, <i>et al.</i>	(3377)
Biorecovery of Palladium from Simulated Wastewaters and Its Catalytic Property for Methylene Blue	KANG Nai-xin, ZHU Neng-wu, GUO Wen-ying, <i>et al.</i>	(3385)
Investigation of Initiation and Shock Process of ANAMMOX Based on Color Space	WANG Li-jun, LI Zhi-hua, HAN Dong, <i>et al.</i>	(3393)
Fast Start-up of Shortcut Nitrification in a CSTR and an MBR	ZHANG Ting, WU Peng, SHEN Yao-liang, <i>et al.</i>	(3399)
Conversion Pathways of Substrates in Sulfate-Reducing Ammonia Oxidation System	WANYAN De-qing, HUANG Yong, LI Zhen, <i>et al.</i>	(3406)
Effect of Different TOC to NH ₄ ⁺ -N Ratios on Nitrogen Removal Efficiency in the ANAMMOX Process	WANG Fan, LIU Kai, LIN Xing, <i>et al.</i>	(3415)
Effects of Salinity on the Operation of EGSB Reactors and the Anaerobic Granular Sludge	TAN Xiao, HUANG Liang, YANG Ping, <i>et al.</i>	(3422)
Start-up of Granule CANON Process and the Strategy for Enhancing Total Nitrogen Removal Rate	SUN Yan-fang, HAN Xiao-yu, ZHANG Shun-jun, <i>et al.</i>	(3429)
Effect of Extracellular Polymeric Substance (EPS) on the Adsorption of Perfluorooctane Sulfonate (PFOS) onto Activated Sludge	LIU Xin-tong, YIN Hua, PENG Hui, <i>et al.</i>	(3435)
Characteristics of N ₂ O and NO _x Emissions from Purple Soil Under Different Fertilization Regimes	HU Lei, LIU Yun, ZHU Bo	(3442)
Effect of Plastic Film Mulching on Methane Emission from a Vegetable Field	ZHANG Kai-li, HAO Qing-ju, FENG Di, <i>et al.</i>	(3451)
Responses of Soil Ammonia Oxidizers to Simulated Warming and Increased Precipitation in a Temperate Steppe of Inner Mongolia	ZHANG Cui-jing, SHEN Ju-peí, SUN Yi-fei, <i>et al.</i>	(3463)
Nitrification Activity and Autotrophic Nitrifiers in Long-term Fertilized Acidic Upland Soils	XU Bai-lu, ZHONG Wen-hui, HUANG Qian-ru, <i>et al.</i>	(3473)
Effects of CaCO ₃ Application on Soil Microbial Nitrogen Cycle in an Acid Soil	GUO An-ning, DUAN Gui-lan, ZHAO Zhong-qiu, <i>et al.</i>	(3483)
Responses of Extracellular Enzymes to Nitrogen Application in Rice of Various Ages with Rhizosphere and Bulk Soil	WEI Liang, TANG Zhen-zhu, ZHU Zhen-ke, <i>et al.</i>	(3489)
Variation in the Temperature Sensitivity of Surface Litter Respiration and Its Influencing Factors	ZHANG Yan-jun	(3497)
Magnetic Properties of Farmland Soils in Arid Regions in Northwest China and Their Environmental Implications	WANG Xin, XIA Dun-sheng, WANG Bo, <i>et al.</i>	(3507)
Preparation of Magnetic Biomass Carbon by Thermal Decomposition of Siderite Driven by Wheat Straw and Its Adsorption on Cadmium	ZHANG Ru-yu, LIU Hai-bo, ZOU Xue-hua, <i>et al.</i>	(3519)
Effects of Traffic-related Air Pollution Exposure on DNA Methylation	WANG Ting, DING Rui, HUANG Dan-ni, <i>et al.</i>	(3529)
Effects of Exogenous Microorganism Inoculation on Efficiency and Bacterial Community Structure of Sludge Composting	YANG Ping-ping, YIN Hua, PENG Hui, <i>et al.</i>	(3536)
Life Cycle Assessment of Traction Lead-acid Batteries for Electric Bikes in China	LIU Wei, TIAN Jin-ping, CHEN Lü-jun	(3544)