

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第8期

Vol.33 No.8

2012

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

南海北部大气气相多溴联苯醚的含量及来源	李琦路, 李军, 刘向, 徐维海, 张干 (2533)
河北张家口市大气污染观测研究	邵平, 王莉莉, 安俊琳, 周彦丽, 王跃思 (2538)
大气中丙烷光氧化臭氧生成活性的烟雾箱模拟	黄丽华, 莫创荣, 徐永福, 贾龙 (2551)
膜生物反应器处理甲苯性能及机制	叶杞宏, 魏在山, 肖盼, 李华琴, 张再利, 樊青娟 (2558)
厨余垃圾堆肥过程中恶臭物质分析	张红玉, 邹克华, 杨金兵, 李国学, 杨青原, 张锋 (2563)
北京城市生态系统地表水硝酸盐污染空间变化及其来源研究	徐志伟, 张心昱, 任玉芬, 孙晓敏, 王效科, 王升忠 (2569)
枯、平、丰水期长江3条支流表层水中多氯联苯的分布特征及风险评价	李昆, 赵高峰, 周怀东, 曾敏, 廖柏寒, 吴正勇, 张盼伟, 柳敏 (2574)
三峡库区丰水期表层水中酚类的分布特征及潜在风险	吴正勇, 赵高峰, 周怀东, 李科林, 李昆, 张盼伟 (2580)
东湖表层水体中全氟辛酸和全氟辛磺酸空间分布特征	陈静, 王琳玲, 朱湖地, 王贝贝, 刘黄诚, 曹梦华, 苗竹, 胡丽, 陆晓华, 刘光虹 (2586)
三峡库区大宁河与磨刀溪重金属污染特征	安立会, 张艳强, 郑丙辉, 刘玥, 宋双双, 李子成, 陈浩, 赵兴茹, 林进 (2592)
长江水系表层沉积物重金属污染特征及生态风险性评价	王岚, 王亚平, 许春雪, 安子怡 (2599)
江苏如东滩涂贝类养殖区表层沉积物中重金属来源分析及其潜在生物毒性	李磊, 王云龙, 蒋玫, 袁璐, 沈新强 (2607)
扰动强度对太湖沉积物中磷释放及其形态转化的影响	李大鹏, 黄勇 (2614)
干流倒灌异重流对香溪河库湾营养盐的补给作用	张宇, 刘德富, 纪道斌, 杨正健, 陈媛媛 (2621)
常年淹水和干旱对三峡库区消落带菖蒲生长恢复的影响	李强, 高祥, 丁武泉, 朱启红, 欧媛, 刘瑜 (2628)
温州城市降雨径流磷的负荷及其初始冲刷效应	周栋, 陈振楼, 毕春娟 (2634)
沂蒙山区典型小流域降雨径流的磷素输出特征	于兴修, 李振炜, 刘前进, 井光花 (2644)
城郊农业区小流域土地利用结构对氮素输出的影响	杨峰, 王鹏举, 杨珊珊, 吴金水, 胡荣桂 (2652)
基于 AnnAGNPS 模型四岭水库小流域氮磷流失特征的模拟研究	边金云, 王飞儿, 杨佳, 俞洁, 楼莉萍, 俞丹萍 (2659)
基于 GIS 和 L-THIA 模型的深圳市观澜河流域非点源污染负荷变化分析	白凤姣, 李天宏 (2667)
黄土丘陵区坡面水蚀对降雨和下垫面微观格局的响应	卫伟, 贾福岩, 陈利顶, 吴东平, 陈瑾 (2674)
强化混凝对腐殖酸和富里酸去除对比研究	周玲玲, 张永吉, 叶河秀, 张一清 (2680)
九龙江下游水源水中新发病原微生物和抗生素抗性基因的定量 PCR 检测	王青, 林惠荣, 张舒婷, 于鑫 (2685)
布吉河丰水期总细菌和氨氧化细菌的定性和定量研究	孙海美, 白姣姣, 孙卫玲, 邵军 (2691)
曝气生物滤池工艺脱氮性能及反硝化细菌群落结构特征研究	彭晓兰, 刘聪, 陈吕军 (2701)
城市污水处理厂氧化沟工艺微生物种群分析	郭云, 杨殿海, 卢文健 (2709)
IC 反应器处理啤酒废水的效能及其微生物群落动态分析	朱文秀, 黄振兴, 任洪艳, 阮文权 (2715)
原子力显微镜液池成像技术应用于微絮凝过滤工艺过程中的实验条件优化	郑蓓, 葛小鹏, 于志勇, 原盛广, 张文婧, 孙景芳 (2723)
UV/H ₂ O ₂ 法对印染废水生化出水中不同种类有机物的去除效果	李新, 刘勇弟, 孙贤波, 徐宏勇, 钱飞跃, 李欣珏, 李暮 (2728)
蛋白核小球藻 <i>Chlorella pyrenoidosa</i> -15 的异养培养条件优化及污水养殖	王秀锦, 李兆胜, 邢冠岚, 李卓凝, 袁红莉, 杨金水 (2735)
“Fe ⁰ /优势脱氯菌”体系降解 2,4,6-TCP 特性及机制研究	戴友芝, 郭丽丽, 史雷, 刘智勇, 高宝钗 (2741)
树脂 D201 上粗漆酶的固定化及对孔雀石绿的脱色	戚绪亮, 刘翔, 刘波, 王林, 王小春, 方超 (2747)
TiO ₂ /PS/Fe ₃ O ₄ 光催化剂的低温制备及其光催化和磁回收性能	王雪姣, 任学昌, 念娟妮, 肖举强, 王刚, 常青 (2752)
微波加热下苯的催化氧化性能研究	张钰彩, 卜龙利, 王晓晖, 刘海楠, 张浩 (2759)
纳米磁粉协同解偶联剂作用下活性污泥性能的研究	高丽英, 汤兵, 梁玲燕, 黄绍松, 付丰连, 罗建中 (2766)
好氧颗粒污泥沉降选择实验研究与定量描述	苏德足, 邓绣坤, 郑丽, 王畅, 金旺江, 沈俊 (2773)
超声波促进好氧/缺氧污泥消化过程中水解酶活性变化研究	叶运弟, 孙水裕, 郑莉, 刘宝建, 许燕滨, 占星星, 刘敬勇 (2780)
微生物营养剂浓度对生物沥浸法促进城市污泥脱水性能的影响	宋永伟, 刘奋武, 周立祥 (2786)
实验室条件下蓝藻结皮对低温光照胁迫的响应与微结构变化	饶本强, 李华, 熊瑛, 兰书斌, 李敦海, 刘永定 (2793)
西南地区紫色水稻土活性碳库的季节动态	吴艳, 江长胜, 郝庆菊 (2804)
典型设施菜地土壤抗生素污染特征与积累规律研究	尹春艳, 骆永明, 滕应, 章海波, 陈永山, 赵永刚 (2810)
土壤铜硒复合污染中金属形态转化及其对生物有效性的影响	胡斌, 梁东丽, 赵文龙, 缪树寅 (2817)
土壤微生物群落对多环芳烃污染土壤生物修复过程的响应	张晶, 林先贵, 刘魏魏, 尹睿 (2825)
可可毛色二孢菌对焦化厂土壤多环芳烃污染修复	张志远, 王翠苹, 刘海滨, 孙红文 (2832)
广西茶山梯矿尾砂中微量元素的淋滤实验研究	蔡永兵, 李玲, 魏晓飞, 张国平, 李海霞, 付志平 (2840)
北京市近郊区土壤砷累积特征	戚洁, 王美娥, 汪自强, 欧阳志云 (2849)
抗氧化酶基因作为多环麝香污染分子标志物研究	陈春, 周启星, 刘潇威 (2855)
臭气污染对不同品种小麦干物质与生物量碳积累与分配的影响	寇太记, 于伟伟, 朱建国, 朱新开 (2862)
尿素分解共沉淀法中反应时间对 ZnAl 类水滑石结构和磷吸附性能的影响	陆英, 程翔, 邢波, 孙中恩, 孙德智 (2868)
铅和铜离子在纳米羟基磷灰石上的竞争吸附动力学研究	胡田田, 仓龙, 王玉军, 司友斌, 周东美 (2875)
pH 和 Ni ²⁺ 对人工纳米氧化硅吸附菲的影响	罗沛, 孙红文, 张鹏 (2882)
铈在凹凸棒石上的吸附特性与机制研究	刘娟, 陈迪云, 张静, 宋刚, 罗定贵 (2889)
环丙沙星在潮土中的吸附特性	崔皓, 王淑平 (2895)
中高温区水合肼 SNCR 脱硝反应机制和特性研究	洪彦, 陈德珍, 王渡, 黄慷 (2901)
H ₂ S 选择性催化氧化工艺及催化剂研究现状	郝郑平, 冀广玉, 张鑫, 曲思秋 (2909)
《环境科学》征稿简则 (2550) 《环境科学》征订启事 (2568) 信息 (2684, 2714, 2848, 2916)	

纳米磁粉协同解偶联剂作用下活性污泥性能的研究

高丽英, 汤兵*, 梁玲燕, 黄绍松, 付丰连, 罗建中

(广东工业大学环境科学与工程学院, 广州 510006)

摘要: 为了促进解偶联剂作用下活性污泥减量化效果及污泥沉降性能, 本研究在序批式活性污泥工艺的设施中同时添加解偶联剂和纳米磁粉, 分析其协同作用下对活性污泥性能产生的影响. 研究发现 2,4,5-三氯苯酚(TCP)单独作用下污泥减量达 41%, 但活性污泥基质降解性能及沉降性能降低, 而纳米磁粉与 TCP 联合作用下污泥减量仍达 34%, 且对 C、N、P 去除效能和污泥沉降性能均无明显影响. 运行 31 d 后, 脱氢酶活性提高 10%~18%, 且具有一定的时间累积效应; 在光学显微镜下观察可发现污泥絮体结构紧实, 原生动物和后生动物种类和数量增多. 结果还表明, 在活性污泥工艺中运用纳米磁粉与 TCP 协同作用可抑制剩余污泥的产生, 并能提高活性污泥系统的运行效能.

关键词: 纳米磁粉; 2,4,5-三氯苯酚(TCP); 污泥减量; 污泥性能; 解偶联剂

中图分类号: X705 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)08-2766-07

Synergistic Effects of Nano-sized Magnetic Particles and Uncoupler to the Characteristics of Activated Sludge

GAO Li-ying, TANG Bing, LIANG Ling-yan, HUANG Shao-song, FU Feng-lian, LUO Jian-zhong

(Faculty of Environmental Science and Engineering, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China)

Abstract: For improving the performance and sludge settling property of an activated sludge reduction process with uncoupler, in this investigation, uncoupler and nano-sized magnetic particles were added simultaneously to a sequencing batch reactor for exploring their synergistic effects to the characteristics of activated sludge. The results showed that the volume reduction of sludge reached 41% with single 2,4,5-Trichlorophenol(TCP). Comparing with the control experiment, the biodegradability and settling properties of the activated sludge decreased. Under the actions of TCP combined with nano-sized magnetic particles, the volume reduction of sludge reached 34%, the removal efficiencies of COD, nitrogen, and phosphorus as well as the sludge settling property were not significantly influenced. After 31d's operation, the dehydrogenase activity was improved by 10%-18% and exhibited an accumulative effect over time. It was observed with an optical microscope that the species and amounts of protozoan and metazoan increased and a compact structure of sludge floc was formed. The results also indicated that using nano-sized magnetic particles and uncoupler could restrict the yield of excess sludge and improve the performance of an activated sludge system.

Key words: nano-sized magnetic particles; 2,4,5-Trichlorophenol(TCP); volume reduction; sludge property; uncoupler

活性污泥法因其效果好、投资低等诸多优点而得到广泛应用,在大型城市污水处理厂使用的工艺中占绝大多数,但运行过程中产出大量的剩余污泥却是难以克服的缺点. 据统计,剩余污泥处理处置费用约占整个污水处理厂总运行费用的 40%~65%^[1],如何减少剩余污泥产量成为目前十分关注的环境问题.

国内外学者研究表明^[2-6],在活性污泥生物设施中使用解偶联剂,可阻断微生物的合成代谢,从而降低剩余污泥产量. 其中 2,4,5-三氯苯酚(TCP)已被证实是目前最有效的解偶联剂^[7],能在低剂量下,极大程度地减少污泥的产量,其不溶于水的特性更降低了其对出水造成污染的可能性. 但是解偶联剂的加入,导致污泥基质去除效能及沉降性能变差,长期运行过程中,污泥生长活性降低,微生物种群结构变得单一,系统抗冲击负荷效能减弱^[5-9],从而对

活性污泥系统的正常运行造成不良影响. 因此,如何发挥解偶联剂的污泥减量化优势,并减少其不良影响的研究,具有理论及实用价值.

纳米磁粉颗粒(Fe_3O_4)具有两大特性^[10-12]:一是具有巨大的比表面积,使其具有高吸附性能,能吸附大量有机物,致使大量微生物在磁粉表面富集生长,这在一定程度上改善污泥的絮体及微生物种群结构,增强菌胶团的吸附降解能力;二是具有高饱和磁力,使其能吸附趋磁性微生物和促进污泥磁力沉降,提高污泥的沉降性能. 正因为纳米磁粉具有以上两大特性,可用于改善活性污泥性能. 因此,本研究考察纳米磁粉协同解偶联剂的作用下,对污泥产

收稿日期: 2011-10-19; 修订日期: 2012-02-16

基金项目: 国家自然科学基金项目(51178120)

作者简介: 高丽英(1987~),女,硕士研究生,主要研究方向为水污染控制方面研究工作, E-mail: gly6822@163.com

* 通讯联系人, E-mail: renytang@163.com

率、工艺运行效能、污泥沉降性能、污泥活性和活性污泥中微生物种群结构所发生的变化,研究其协同作用对活性污泥的各种性能所产生的影响。

1 材料与方法

1.1 实验材料

接种污泥:取自广州沥滘污水处理厂二沉池回流污泥。

水质条件:进水 COD 确定为 $600 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,且 C:N:P = 100:5:1,葡萄糖、尿素、 KH_2PO_4 分别提供碳、氮、磷源,同时补充铁、镁、锰等微量元素。

2,4,5-三氯苯酚(TCP):购于成都市科龙化工试剂厂,纯度为 AR 级。

纳米磁粉:为本实验室利用钢材表面酸洗废液中制备得到的磁粉^[13],最小粒径 13.49 nm,最大粒径 22.89 nm,纳米磁粉比表面积 $30.42 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$,饱和磁化率 $67.77 \text{ emu} \cdot \text{g}^{-1}$ 。

1.2 实验仪器

荧光显微镜:BK5000 型,重庆奥特光学仪器有限公司生产。

紫外分光光度计:UV-752N 型,上海佑科仪器仪表有限公司生产。

1.3 实验方法

采用模拟序批式活性污泥法,在 4 个 15 L 反应器(R1、R2、R3、R4)中,注入已驯化至污泥浓度为 $3500 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的活性污泥和人工模拟污水。连续曝气 10 h 后,静置沉淀 2 h,排出上清液,重新注入新污水,12 h 作为一个循环,每天运行 2 个周期,4 个反应器曝气阶段溶解氧浓度维持在 $4 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 以上,连续运行 31 d。当反应器中 MLSS 超过 $3500 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,开始排出剩余污泥,维持反应器中 MLSS 在 $3500 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 左右。

其中 R1 作为空白对照,R2 投加纳米磁粉,R3 投加纳米磁粉和 TCP,R4 只投加 TCP。通过补充排出纳米磁粉量的方式使 R2 与 R3 的纳米磁粉浓度维持在固定浓度;R3 和 R4 中 TCP 的投加是以固体形式分阶段在进水时直接投入反应器中,每天 2 次,前期 15 d 向反应器中每次投加 36 mg(相当于 TCP 浓度为 $2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$),后期 15 d TCP 浓度为 $4 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

有研究表明^[7,9], $3500 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 污泥浓度下,TCP 最佳浓度为 $4.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,但由于长期运行过程中,活性污泥是否对 TCP 产生抗性,仍不清楚,因此本实验选择分阶段投加的方式,前 15 d TCP 浓度为

$2.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,后期 $4.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,以便考察运行过程中活性污泥是否会被驯化。

1.4 测定项目与分析方法

常规分析项目:COD 采用重铬酸钾法测定;总氮采用过硫酸钾化-紫外分光光度法;氨氮采用纳氏试剂分光光度法;总磷采用钼锑抗分光光度法测定;MLSS 采用重量法^[14]。

污泥脱氢酶活性:该指标表示生物细胞对其基质降解能力的强弱,其测定方法按照文献[15]进行,取 2 mL 经蒸馏水洗涤与超声破碎后的污泥混合液于 15 mL 离心管中,先后加入 1.5 mL Tris-HCl 缓冲溶液,0.5 mL 0.36% Na_2SO_3 溶液,0.5 mL 基质,0.5 mL 0.4% 氯化三苯基四氮唑(TTC)溶液,置于 37°C 恒温水浴振荡仪内,2 h 后取出加入 0.5 mL 甲醛终止反应,再加入 5 mL 丙酮进行提取 TF 10 min,之后在 $4000 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 下离心 10 min,最后用分光光度计在 485 nm 处测定三苯基甲(TF)的生成量。

污泥中磷含量:测定参照文献[16]进行,取 100 mL 污泥洗涤后于 60°C 烘箱中烘干,冷却后称取 0.1 g 放入 250 mL 具塞烧瓶,加入 100 mL 纯水和 50 mL 饱和过硫酸钾溶液,置于压力蒸汽灭菌锅中,待压力上升至 $1.1 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-2}$,保持此压力消解 0.5 h,消解后经 $0.45 \mu\text{m}$ 微孔滤膜过滤后,转移至 250 mL 容量瓶中定容,之后再移取 2 mL 样液进行含磷量的测定。

1.5 计算方法

平均剩余污泥产率的计算:

$$m_{\text{排}} = (\text{MLSS} - \text{MLSS}_0) \times V \quad (1)$$

$$m_{\text{累}} = \sum_{t=1}^n m_{\text{排}} \quad (2)$$

$$Y = m_{\text{累}} / t \quad (3)$$

式中, $m_{\text{排}}$ 是每日剩余污泥产量, $m_{\text{累}}$ 是累计排泥量,MLSS 是污泥浓度,MLSS₀ 是系统维持的污泥浓度,V 是系统有效体积,t 是运行时间,Y 是平均剩余污泥产率。

2 结果与讨论

2.1 纳米磁粉量的确定

在本实验方法中的基质及污泥浓度下,模拟序批式活性污泥法,在反应器中投加一定量的纳米磁粉。纳米磁粉投加量分别为 0.3、0.4、0.5、0.6、0.7、0.8、1.0 和 $1.2 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$,以未加纳米磁粉实验作为对照组。运行 1 周后,系统 COD 去除率和污泥沉降性能随投加纳米磁粉量变化如表 1 所示。

表 1 纳米磁粉加入量对 SVI 和 COD 去除率的影响

项目	纳米磁粉浓度/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$								
	0	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	1	1.2
SVI	70.15	69.77	68.51	66.65	64.63	62.37	62.62	63.04	62.73
COD 去除率/%	93.11	95.44	95.82	96.04	96.47	97.11	97.18	97.60	97.69

从表 1 可知,出水 COD 去除率和污泥沉降性能随磁粉投加量增加而提高,但磁粉加入量 $> 0.8 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 以后,污泥沉降性能和 COD 去除率增加不再显著,综合考虑经济因素,故选择最佳投加量为 $0.8 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$.

2.2 纳米磁粉和 TCP 对剩余污泥产量的影响

图 1 为运行期间 4 个反应器的累计剩余污泥排放量.从中可知,R4 和 R3 平均剩余污泥产率分别为 $2.65 \text{ g}\cdot\text{d}^{-1}$ 和 $2.97 \text{ g}\cdot\text{d}^{-1}$,与对照平均剩余污泥产率为 $4.5 \text{ g}\cdot\text{d}^{-1}$ 相比,分别下降 41% 和 34%,这表明不管是 TCP 单独作用下,还是 TCP 协同纳米磁粉作用下,都能有效地降低活性污泥产率.运行 15 d 后,R3 和 R4 污泥生长速率明显变缓,这是由于后期增加 TCP 投加量所致,这说明剩余污泥减量程度与 TCP 浓度正相关.同时,R3 和 R4 累计剩余污泥产量与时间的曲线趋势,也表明在 31 d 的连续运行期间,活性污泥微生物并未对 TCP 产生抗性.

将 R2 和 R3 分别与 R1 和 R4 对比,不难发现纳米磁粉有所促进污泥增长,增长量均在 8% 左右,但从总体上看,纳米磁粉对 TCP 作用下的污泥减量效果影响较小.因此,将纳米磁粉与 TCP 共同添加进曝气池,减少剩余污泥产量具有可行性.

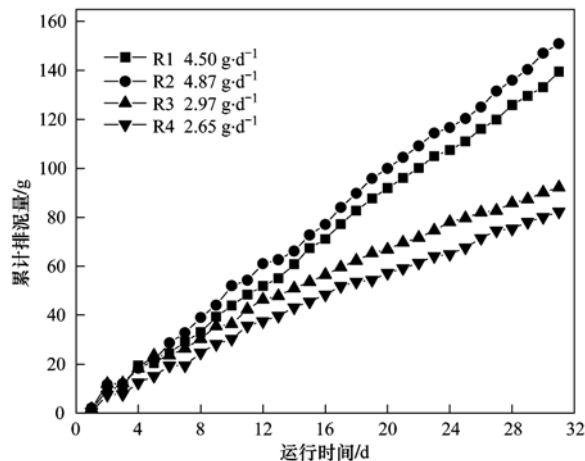


图 1 运行 31 d 期间 4 个反应器累计排放的剩余污泥产量
Fig. 1 Accumulated sludge production of four reactors during the 31 d continuous operation

2.3 纳米磁粉与 TCP 对工艺运行效能的影响

工艺运行效能是活性污泥法的核心环节,运行

效能的好坏直接影响其能否被实际工程所应用.而 COD、TN、 NH_4^+-N 、TP 是体现工艺运行效能的重要指标.运行期间,纳米磁粉与 TCP 对出水 COD 浓度的影响如图 2 所示.可见,TCP 单独作用下的 R4 系统出水 COD 浓度波动范围大.与对照相比,由于受 TCP 作用的影响,运行第 4 d 开始出水 COD 有所增大,第 17 d,出水 COD 浓度增长了约 $50 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,后期虽趋于稳定,但与 R1 相比,仍高出 $35 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 左右.该结论与国内外学者采用 2,4,5-三氯苯酚^[7]、2,4,6-三氯苯酚^[17]、氨基苯酚和四氯水杨酰苯胺^[18] 的研究相一致.

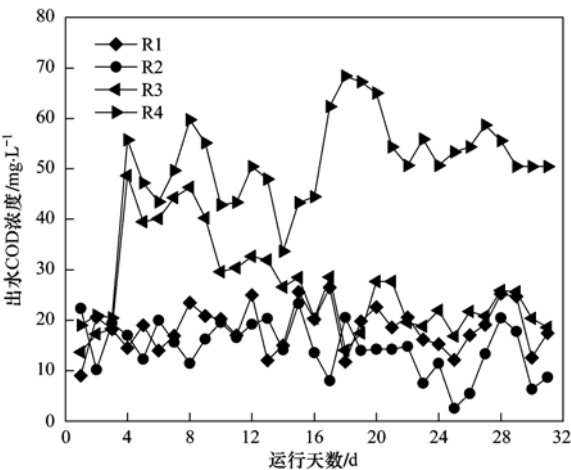


图 2 运行 31 d 期间的 4 个反应器中的出水 COD 浓度
Fig. 2 Effluent COD concentrations of the four reactors during the 31 d continuous operation

在纳米磁粉单独作用下,与对照相比 COD 平均去除率提高 0.67%; 纳米磁粉协同 TCP 作用下的 R3,仅初期由于受 TCP 的影响,水质有所波动,后期 COD 去除率均在 95% 以上,出水 COD 浓度与对照基本相同.可见,纳米磁粉与 TCP 在活性污泥的基质去除性能上存在互补性.纳米磁粉与 TCP 协同作用下,可有效改善 TCP 单独作用下的污泥降解性能和抗冲击负荷效能.这主要是因为纳米磁粉在系统中形成的磁场可以提高微生物酶活性,从而促进有机物的降解^[19].另外在纳米磁粉的作用下,在 R3 系统中形成膜生物系统,生物链增长,相对于 R4 活性污泥系统微生物种类丰富、对水质变动有较强的适应性^[20],因此

在增大 TCP 加入量时 R4 系统出水 COD 波动较大,而 R3 系统则较平稳,处理效果较好.

纳米磁粉与 TCP 对 N 的去除效果如图 3 所示,4 个反应器 N 的去除率基本一致,说明纳米磁粉与

TCP 对 N 的去除效果无明显影响.这主要是由于本实验采用连续曝气继而沉淀的方式,造成了好氧-缺氧-厌氧循环更替的条件,从而发生硝化和反硝化作用所致.

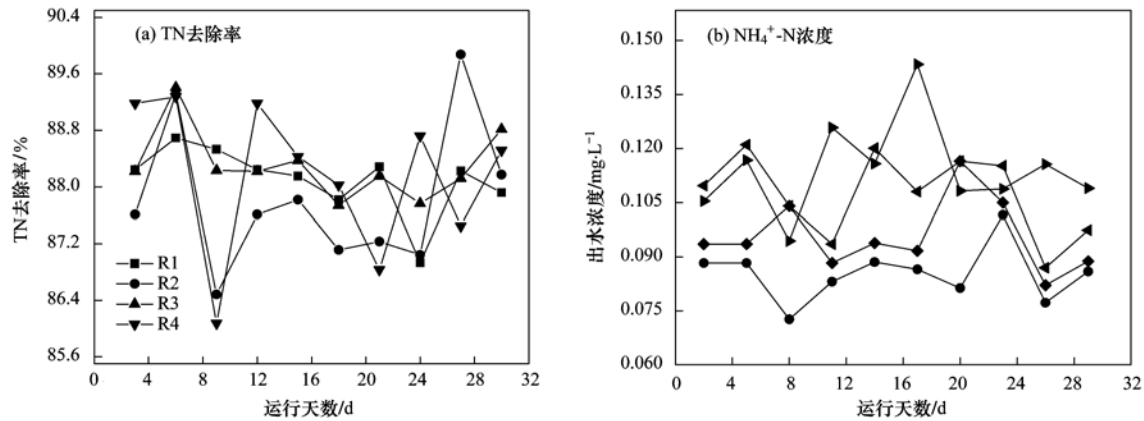


图3 运行 31 d 期间 4 个反应器中的 TN 去除率和出水NH₄⁺-N浓度

Fig. 3 TN removal efficiencies and effluent NH₄⁺-N concentrations of the four reactors during the 31 d continuous operation

纳米磁粉与 TCP 对 TP 去除率的影响如图 4 所示.由图可知,TCP 单独作用下,总磷去除率明显下降.当 TCP 投加量为 2 mg·L⁻¹时,总磷去除率下降 9.2%;投加量为 4 mg·L⁻¹时,去除率下降 17.4%.从表 2 可知,相对应的 R4 系统污泥磷含量由 18.52 mg·g⁻¹下降至 17.54 mg·g⁻¹.由于在活性污泥工艺中总磷的去除主要是通过排除剩余污泥的方式排出系统,因此从理论上推断,R4 之所以总磷去除率降低,是因为解偶联剂的加入使得剩余污泥减量,致使减少的这部分剩余污泥中的总磷释放到水中,导致出水中总磷浓度升高.

由图 4 可知,纳米磁粉协同 TCP 作用下的 R3,

总磷去除率仅初期有所下降,下降仅为 1%,基本可以忽略. R3 和纳米磁粉单独作用下的 R2,对 TP 去除率均表现有随运行时间延长而递增的趋势,同时,表 2 数据也表明污泥磷含量变化趋势也相一致.这主要是由于单独添加 TCP 的反应器和 TCP 与纳米磁粉联用的反应器相比,生物合成量较低,则微生物利用总磷合成生物细胞的量就相对减少;同时又由于纳米磁粉具有比表面积大、暴露表面的配位不饱和的活性微点多等特点,因此纳米磁粉具备优异的催化活性^[21,22].在纳米磁粉的催化作用下,利于某些含磷酸物质的催化转化^[23],从而减少 TCP 与纳米磁粉联用系统中磷含量的减少.除以上两方面原因外还可能是由于一方面纳米磁粉与 TCP 作用,导致微生物种群结构发生演替^[24],提高聚磷菌含量或藻类增多;另一方面纳米磁粉具有强吸附效能^[10],能与菌胶团紧密结合,增强对磷酸盐的吸附,但其具体原因还有待进一步考察.

表 2 31 d 运行期间污泥含磷量/mg·g⁻¹

Table 2 Phosphorus content of sludge in the 31-day operation of the reactors/mg·g ⁻¹				
时间	R1	R2	R3	R4
第 10 d	19.15	19.14	19.00	18.52
第 20 d	19.71	20.08	19.63	17.53
第 30 d	19.52	19.89	19.43	17.54
平均	19.46	19.61	19.35	17.87

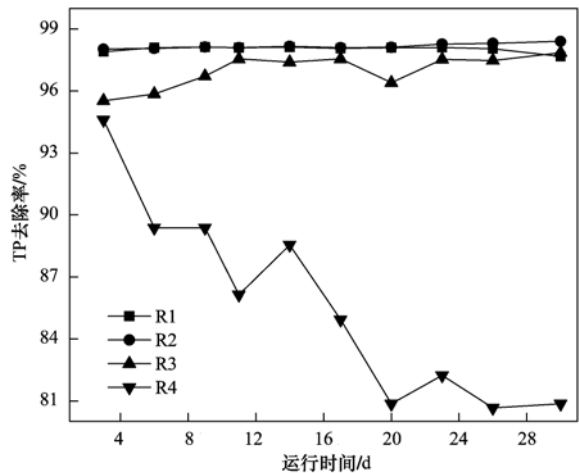


图4 运行 31 d 期间 4 个反应器中的总磷去除率

Fig. 4 TP removal efficiencies of four systems during the 31 d continuous operation

2.4 纳米磁粉和 TCP 对活性污泥沉降性能的影响
SVI 是衡量污泥沉降性能的指标,反映出活性

污泥的松散程度和凝聚沉降性能,是影响系统运行效能的重要因素.由图 5 可见,第一阶段 TCP 浓度为 $2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,与对照相比,R4 污泥沉降性能影响还较为轻微,仅下降 8.1%;而当第二阶段 TCP 浓度提高至 $4 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 后,污泥沉降性能降低 18.1%.这表明在活性污泥中单独添加 TCP 严重影响污泥沉降性能,且随着 TCP 浓度的增大,降低程度越大.该结论与 Low 等^[25,26]以对硝基苯酚为解偶联剂,加入活性污泥中所得研究结果相一致.

纳米磁粉协同 TCP 作用下,第一阶段 R3 系统的活性污泥沉降性能相对于对照系统不仅没有下降,反而提高 5.3%,与 R4 对比更是提高 12.5%;第二阶段由于 TCP 投加量增大,R3 系统的活性污泥沉降性能有所降低,与对照相比,下降 6.8%,但与 R4 相比仍提高 10%.这一结果表明,纳米磁粉协同 TCP 作用下,能有效提高 TCP 单独作用下的污泥沉降性能;TCP 的投加量是影响污泥沉降性能的关键因素.同时,在纳米磁粉单独作用下,平均污泥沉降性能与对照相比提高 10.1%,更进一步验证了纳米磁粉促进污泥沉降的效能.这是由于纳米磁粉粒径小,在液体中分散效果好,极易与菌胶团结合,增大污泥絮体比重,加速污泥沉降;同时纳米磁粉具有高饱和磁力,使其能吸附趋磁性微生物促进污泥磁力沉降,提高污泥的沉降性能.

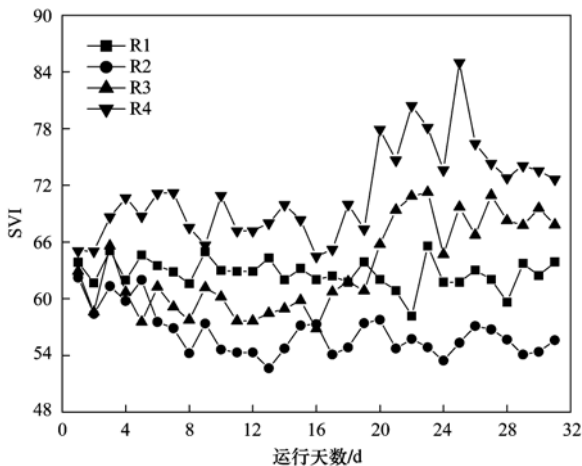


图 5 运行 31 d 期间 4 个反应器中的 SVI 值

Fig. 5 SVI values of the four systems during the 31-day continuous operation

2.5 纳米磁粉和 TCP 对脱氢酶活性的影响

脱氢酶是一类催化有机物氧化还原反应的酶,脱氢酶的活性反映了处理体系内活性微生物量及对有机物的降解活性^[27],对工艺运行效果起决定性作用.图 6 为运行期间对 4 个反应器中活性污泥的脱

氢酶活性测定结果.可见,TCP 单独作用下相对于对照系统脱氢酶活性并未受到太大影响,只是后期活性有略微的降低.与之相比,纳米磁粉协同 TCP 作用下,R3 系统脱氢酶活性提高 10%~18%;纳米磁粉单独作用下的 R2 系统与对照相比脱氢酶活性更是提高 10%~25%,且活性随时间的延长而递增,表现出一定的时间累积效应,麻海珍等^[27]用磁粉处理非硫光合菌的实验中 also 发现类似现象.这是由于纳米磁粉具有“高饱和磁力”和“巨大的比表面积”,一方面在磁场的作用下,过渡金属 Mn、Fe 等原子呈现顺磁特性,纳米磁粉通过影响生物体中顺磁原子从而促使脱氢酶活性提高^[28];另一方面,纳米磁粉具有巨大的比表面积,菌体借助纳米磁粉作为载体,吸附固定于磁粉表面形成菌膜,减少菌体流失,增加活性微生物量,从而提高了脱氢酶活性.

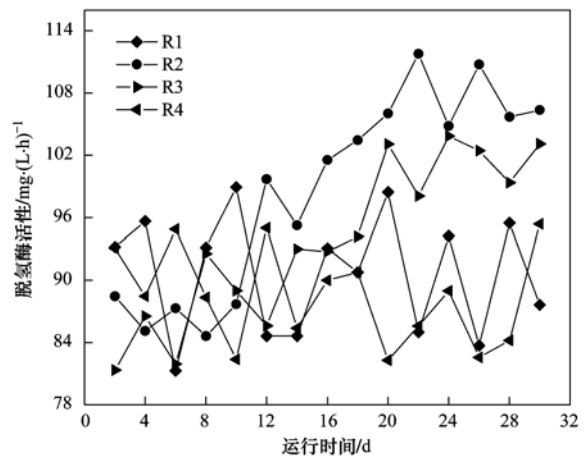


图 6 运行 31 d 期间 4 个反应器中的污泥脱氢酶活性

Fig. 6 Dehydrogenase activities of sludge during the 31-day continuous operation of four systems

2.6 纳米磁粉和 TCP 对污泥结构及生物相的影响

运行期间,TCP 单独作用下的活性污泥絮体由黄褐色、结构紧实逐渐递变为泥黄色、结构疏松,呈海绵状,且难于沉降.而投有磁粉的 R2 和 R3 活性污泥逐渐形成颗粒状,呈黑色,污泥结构紧密,沉降速度快.可见,TCP 和纳米磁粉对污泥絮体结构的影响,正是它们对污泥沉降性能产生影响的微观体现.

运行 31 d 后,在 400 倍光学显微镜下 4 个反应器中活性污泥的镜检照片如图 7 所示,与对照相比,R4 系统中的解偶联污泥结构松散,原生动物及后生动物消失,仅有少量的楯纤虫和丝状菌.而在添加了纳米磁粉的 R2 和 R3 的活性污泥系统中,活性污泥絮体紧实浓厚,污泥中存有后生动物轮虫,原生动物

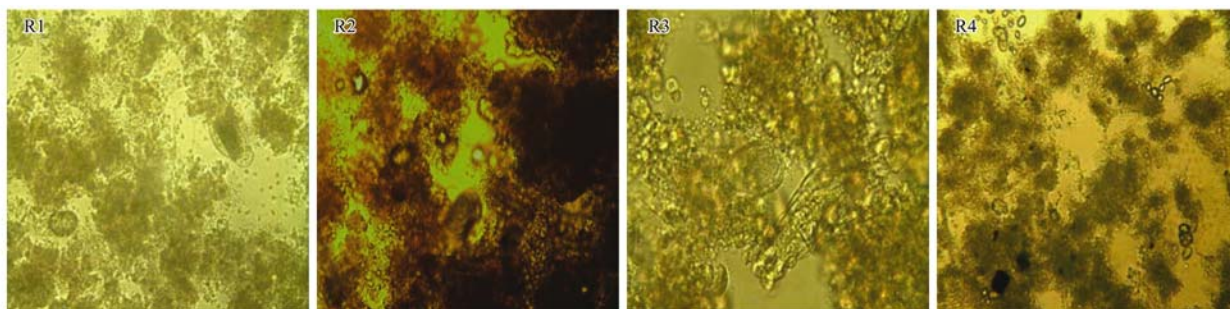


图7 运行 31 d 后 400 倍光学显微镜下 4 个反应器中的污泥镜检照片

Fig. 7 Microscopic images of sludge after the 31-day continuous operation of four systems in the 400 x optical microscope

钟虫、累枝虫、游仆虫等,对照中的原生动物和后生动物如轮虫及钟虫的种类、数量皆少于 R2、R3。微生物种群结构及数量的增多,一定程度上解释了纳米磁粉协同 TCP 作用下能有效提高系统运行效能、污泥沉降性能及脱氢酶活性的原因。

3 结论

(1) TCP 单独作用下污泥减量达 41%,但活性污泥基质降解性能及沉降性能降低,而纳米磁粉与 TCP 联合作用下污泥减量仍达 34%,活性污泥对 C、N、P 去除效能和污泥沉降性能均无明显影响。

(2) 运行过程中,协同作用下的污泥絮体由黄褐色递变为黑色,结构紧实,沉降速度快,进一步证实纳米磁粉有助于改善 TCP 单独作用下的污泥沉降性能。

(3) 二者协同作用下,脱氢酶活性提高 10% ~ 18%,且具有一定的时间累积效应;在光学显微镜下观察可发现:污泥絮体结构紧实,原生动物和后生动物种类和数量增多。

参考文献:

- [1] 何赞,王海燕,田华蕊,等. 污泥减量化水处理技术的研究进展[J]. 中国给水排水, 2009, **25**(8): 1-7.
- [2] 马宗凯,田禹,程寒飞. 铜离子与解耦联剂协同下的污泥减量作用[J]. 环境科学, 2007, **28**(8): 1697-1702.
- [3] Tian Y, Zhang J, Li Z, *et al.* Effect and distribution of a metabolic uncoupler, 2, 6-dichlorophenol in activated sludge batch culture[J]. Journal of Residuals Science and Technology, 2010, **7**(1): 43-50.
- [4] 李颖,叶芬霞. 化学解耦联剂对活性污泥产率的控制作用[J]. 环境科学研究, 2006, **19**(3): 88-90.
- [5] Zheng G H, Li M N, Wang L, *et al.* Feasibility of 2, 4, 6-trichlorophenol and malonic acid as metabolic uncoupler for sludge reduction in the sequence batch reactor for treating organic wastewater[J]. Applied Biochemistry and Biotechnology, 2008, **144**(2): 101-109.
- [6] Ye F X, Li Y. Oxidic-settling-anoxic (OSA) process combined

with 3,3',4',5-tetrachlorosalicylanilide (TCS) to reduce excess sludge production in the activated sludge system [J]. Biochemical Engineering Journal, 2010, **49**(2): 229-234.

- [7] Strand S E, Harem G N, Stensel H D. Activated-sludge yield reduction using chemical uncouplers [J]. Water Environment Research, 1999, **71**(4): 454-458.
- [8] 陈志英,王磊,周琪. 高效代谢解耦联剂的筛选及对 SBR 系统综合运行效能的影响[J]. 环境污染与防治, 2006, **28**(8): 575-579.
- [9] 朱继红,宋碧玉. 活性污泥工艺中加代谢解耦联剂降低污泥产率的研究[J]. 化工环保, 2005, **25**(4): 225-258.
- [10] Peng Z G, Hidajat K, Uddin M S. Adsorption and desorption of lysozyme on nano-sized magnetic particles and its conformational changes[J]. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 2004, **35**(3-4): 169-174.
- [11] 任月明,魏希柱,马军,等. 纳米磁粉生物反应系统处理效能研究[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2009, **40**(8): 1247-1251.
- [12] Sakai Y, Tani K, Takahashi F. Sewage treatment under conditions of balancing microbial growth and cell decay with a high concentration of activated sludge supplemented with ferromagnetic powder [J]. Journal of Fermentation and Bioengineering, 1992, **74**(6): 413-415.
- [13] Tang B, Yuan L J, Shi T H, *et al.* Preparation of nano-sized magnetic particles from spent pickling liquors by ultrasonic-assisted chemical co-precipitation [J]. Journal of Hazardous Materials, 2009, **163**(2-3): 1173-1178.
- [14] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. (第四版). 北京: 中国环境科学出版社, 2002. 105-538.
- [15] 周春生,尹军. TTC-脱氢酶活性检测方法的研究[J]. 环境科学学报, 1996, **16**(4): 400-405.
- [16] 张肖静,高健磊,刘航航,等. 城市污水厂剩余污泥中总磷的测定[J]. 环境监测管理, 2010, **22**(5): 39-41.
- [17] Zheng G H, Chen Z Y, Wang L, *et al.* Treatment of municipal wastewater with the sequence batch reactor under uncoupling metabolic conditions[J]. Journal of Environmental Science and Health-Part A Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering, 2007, **42**(13): 2059-2064.
- [18] 顿咪娜,裴海燕,胡文容. 氨基苯酚和四氯水杨酰苯胺对活性污泥产率的影响[J]. 环境科学, 2009, **30**(5): 1481-1486.

- [19] 潘涌璋, 张志永, 师波. 磁性载体生物膜反应器处理生活污水的试验研究[J]. 中国环境科学, 2011, **31**(5): 734-739.
- [20] 高廷耀, 顾国维, 周琪. 水污染控制工程[M]. (第四版). 北京: 高等教育出版社, 2007. 196-197.
- [21] Nadagouda M N, Varma R S. A greener synthesis of core (Fe, Cu)-shell (Au, Pt, Pd, and Ag) nanocrystals using aqueous vitamin C[J]. Crystal Growth & Design, 2007, **7**(12): 2582-2587.
- [22] Milgrom L. Magnetic catalysts work like a dream[J]. New Scientist, 2004, **184**(2473): 27-29.
- [23] 董青, 欧阳立明, 刘建文, 等. 纳米磁粉固定化酶催化合成 α -D-葡萄糖-1-磷酸[J]. 催化学报, 2010, **31**(10): 1227-1232.
- [24] Liu S T, Yang F L, Meng F G, *et al.* Enhanced anammox consortium activity for nitrogen removal: Impacts of static magnetic field[J]. Journal of Biotechnology, 2008, **138**(3-4): 96-102.
- [25] Low E W, Chase H A, Milner M G, *et al.* Uncoupling of metabolism to reduce biomass production in the activated sludge process[J]. Water Research, 2000, **34**(12): 3204-3212.
- [26] Low E W, Chase H A. The use of chemical uncouplers for reducing biomass production during biodegradation[J]. Water Science and Technology, 1998, **37**(4-5): 399-402.
- [27] 麻海珍, 吴国庆, 牛志卿. 磁场对紫色非硫光合细菌脱氢酶活性的影响[J]. 环境科学, 1995, **16**(3): 4-7.
- [28] 代科林, 贺玉龙, 杨中立, 等. 磁效应对活性污泥法处理污水的作用机理及其应用[J]. 资源节约与环保, 2010, (2): 41-43.

CONTENTS

Levels and Sources of Gaseous Polybrominated Diphenyl Ethers in Air over the Northern South China Sea	LI Qi-lu, LI Jun, LIU Xiang, <i>et al.</i> (2533)
Observation and Analysis of Air Pollution in Zhangjiakou, Hebei	SHAO Ping, WANG Li-li, AN Jun-lin, <i>et al.</i> (2538)
Smog Chamber Simulation of Ozone Formation from Atmospheric Photooxidation of Propane	HUANG Li-hua, MO Chuang-rong, XU Yong-fu, <i>et al.</i> (2551)
Mechanism and Performance of a Membrane Bioreactor for Treatment of Toluene Vapors	YE Qi-hong, WEI Zai-shan, XIAO Pan, <i>et al.</i> (2558)
Analysis of Odor Pollutants in Kitchen Waste Composting	ZHANG Hong-yu, ZOU Ke-hua, YANG Jin-bing, <i>et al.</i> (2563)
Spatial Changes and Sources of Nitrate in Beijing Urban Ecosystem Surface Water	XU Zhi-wei, ZHANG Xin-yu, REN Yu-fen, <i>et al.</i> (2569)
Distribution Characteristics and Potential Risk of PCBs in Surface Water from Three Tributaries of Yangtze River in Different Periods	LI Kun, ZHAO Gao-feng, ZHOU Huai-dong, <i>et al.</i> (2574)
Distribution Characteristics and Potential Risks of Phenols in the Rainy Season Surface Water from Three Gorges Reservoir	WU Zheng-yong, ZHAO Gao-feng, ZHOU Huai-dong, <i>et al.</i> (2580)
Spatial Distribution of Perfluorooctanoic Acids and Perfluorinate Sulphonates in Surface Water of East Lake	CHEN Jing, WANG Lin-ling, ZHU Hu-di, <i>et al.</i> (2586)
Characteristics of Heavy Metal Pollution in Daninghe River and Modaoxi River of Three Gorges Reservoir Areas	AN Li-hui, ZHANG Yan-qiang, ZHENG Bing-hui, <i>et al.</i> (2592)
Pollution Characteristics and Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in the Surface Sediments of the Yangtze River	WANG Lan, WANG Ya-ping, XU Chun-xue, <i>et al.</i> (2599)
Analysis of the Source, Potential Biological Toxicity of Heavy Metals in the Surface Sediments from Shellfish Culture Mudflats of Rudong Country, Jiangsu Province	LI Lei, WANG Yun-long, JIANG Mei, <i>et al.</i> (2607)
Effect of Disturbance Intensity on Phosphorus Release and Its Transformation in the Sediment from Taihu Lake	LI Da-peng, HUANG Yong (2614)
Effects of Intrusions from Three Gorges Reservoir on Nutrient Supply to Xiangxi Bay	ZHANG Yu, LIU De-fu, JI Dao-bin, <i>et al.</i> (2621)
Influence of Perennial Flooding and Drought on Growth Restoration of <i>Acorus calamus</i> in Water-level-fluctuation Zone of the Three Gorges Reservoir	LI Qiang, GAO Xiang, DING Wu-quan, <i>et al.</i> (2628)
Pollution Load and the First Flush Effect of Phosphorus in Urban Runoff of Wenzhou City	ZHOU Dong, CHEN Zhen-lou, BI Chun-juan (2634)
Output Characteristics of Rainfall Runoff Phosphorus Pollution from a Typical Small Watershed in Yimeng Mountainous Area	YU Xing-xiu, LI Zhen-wei, LIU Qian-jin, <i>et al.</i> (2644)
Influence of Land Use Structure on Nitrogen Output in the Watershed of Suburban Agriculture Regions	YANG Feng, WANG Peng-ju, YANG Shan-shan, <i>et al.</i> (2652)
Simulation of Nitrogen and Phosphorus Loss in Siling Reservoir Watershed with AnnAGNPS	BIAN Jin-yun, WANG Fei-er, YANG Jia, <i>et al.</i> (2659)
GIS and L-THIA Based Analysis on Variations of Non-point Pollution in the Guanlan River Watershed, Shenzhen	BAI Feng-jiao, LI Tian-hong (2667)
Response of Sloping Water Erosion to Rainfall and Micro-earth Pattern in the Loess Hilly Area	WEI Wei, JIA Fu-yan, CHEN Li-ding, <i>et al.</i> (2674)
Comparison Study of Enhanced Coagulation on Humic Acid and Fulvic Acid Removal	ZHOU Ling-ling, ZHANG Yong-ji, YE He-xiu, <i>et al.</i> (2680)
Real-time PCR Detection and Quantification of Emerging Waterborne Pathogens (EWPs) and Antibiotic Resistance Genes (ARGs) in the Downstream Area of Jiulong River	WANG Qing, LIN Hui-rong, ZHANG Shu-ting, <i>et al.</i> (2685)
Quantitative and Qualitative Analysis of Total Bacteria and Ammonia-oxidizing Bacteria in Buji River in Wet Season	SUN Hai-mei, BAI Jiao-jiao, SUN Wei-ling, <i>et al.</i> (2691)
Study on the Nitrogen Removal Performance and the Characteristics of Denitrification Bacterial Community Structure of Biological Aerated Filter	PENG Xiao-lan, LIU Cong, CHEN Li-jun (2701)
Analysis of Microbial Community Structure at Full-scale Wastewater Treatment Plants by Oxidation Ditch	GUO Yun, YANG Dian-hai, LU Wen-jian (2709)
Performance and Microbial Community Dynamic Characteristics of an Internal Circulation Reactor Treating Brewery Wastewater	ZHU Wen-xiu, HUANG Zhen-xing, REN Hong-yan, <i>et al.</i> (2715)
Coupling AFM Fluid Imaging with Micro-Flocculation Filtration Process for the Technological Optimization	ZHENG Bei, GE Xiao-peng, YU Zhi-yong, <i>et al.</i> (2723)
Study on Removal Effect of Different Organic Fractions from Bio-treated Effluent of Dye Wastewater by UV/H ₂ O ₂ Process	LI Xin, LIU Yong-di, SUN Xian-bo, <i>et al.</i> (2728)
Optimization of <i>Chlorella pyrenoidosa</i> -15 Photoheterotrophic Culture and Its Use in Wastewater Treatment	WANG Xiu-jin, LI Zhao-sheng, XING Guan-lan, <i>et al.</i> (2735)
Characteristics and Mechanism of 2,4,6-TCP Degradation by the "Fe ⁰ /Enriched-Bacteria" System	DAI You-zhi, GUO Li-li, SHI Lei, <i>et al.</i> (2741)
Immobilization of Crude Laccase onto Anion Exchange Resin and Its Application in Decoloration of Malachite Green	QI Xu-liang, LIU Xiang, LIU Bo, <i>et al.</i> (2747)
Low-Temperature Preparation of TiO ₂ /PS/Fe ₃ O ₄ and Its Photocatalytic Activity and Magnetic Recovery	WANG Xue-jiao, REN Xue-chang, NIAN Juan-ni, <i>et al.</i> (2752)
Study on Catalytic Oxidation of Benzene by Microwave Heating	ZHANG Yu-cai, BO Long-li, WANG Xiao-hui, <i>et al.</i> (2759)
Synergistic Effects of Nano-sized Magnetic Particles and Uncoupler to the Characteristics of Activated Sludge	GAO Li-ying, TANG Bing, LIANG Ling-yan, <i>et al.</i> (2766)
Experimental and Modeling Research on the Settlement of Aerobic Granular Sludge	SU Kui-zu, DENG Xiu-kun, ZHENG Li, <i>et al.</i> (2773)
Analysis of Hydrolytic Enzyme Activities on Sludge Aerobic/Anoxic Digestion After Ultrasonic Pretreatment	YE Yun-di, SUN Shui-yu, ZHENG Li, <i>et al.</i> (2780)
Effect of Microbial Nutrient Concentration on Improvement of Municipal Sewage Sludge Dewaterability Through Bioleaching	SONG Yong-wei, LIU Fen-wu, ZHOU Li-xiang (2786)
Response of the Artificial Cyanobacterial Crusts to Low Temperature and Light Stress and the Micro-structure Changes Under Laboratory Conditions	RAO Ben-qiang, LI Hua, XIONG Ying, <i>et al.</i> (2793)
Seasonal Dynamics of Soil Active Carbon Pool in a Purple Paddy Soil in Southwest China	WU Yan, JIANG Chang-sheng, HAO Qing-ju (2804)
Pollution Characteristics and Accumulation of Antibiotics in Typical Protected Vegetable Soils	YIN Chun-yan, LUO Yong-ming, TENG Ying, <i>et al.</i> (2810)
Transformation and Influences of Copper and Selenium Fractions on Heavy Metals Bioavailability in Co-contaminated Soil	HU Bin, LIANG Dong-li, ZHAO Wen-long, <i>et al.</i> (2817)
Response of Soil Microbial Community to the Bioremediation of Soil Contaminated with PAHs	ZHANG, Jing, LIN Xian-gui, LIU Wei-wei, <i>et al.</i> (2825)
Bioremediation of PAHs Contaminated Soil from Beijing Coking Plant by <i>Lasiodiplodia theobromae</i>	ZHANG Zhi-yuan, WANG Cui-ping, LIU Hai-bin, <i>et al.</i> (2832)
Leaching Experiments on the Release of Trace Elements from Tailings of Chashan Antimony Mine, Guangxi, China	CAI Yong-bing, LI Ling, WEI Xiao-fei, <i>et al.</i> (2840)
Accumulation Characteristics of Arsenic in Suburban Soils of Beijing	QI Jie, WANG Mei-e, WANG Zi-qiang, <i>et al.</i> (2849)
Antioxidant Enzyme Gene Expression as Molecular Biomarkers of Exposure to Polycyclic Musks	CHEN Chun, ZHOU Qi-xing, LIU Xiao-wei (2855)
Effects of Ozone Pollution on the Accumulation and Distribution of Dry Matter and Biomass Carbon of Different Varieties of Wheat	KOU Tai-ji, YU Wei-wei, ZHU Jian-guo, <i>et al.</i> (2862)
Influence of Reaction Time of Urea Hydrolysis-Based Co-precipitation on the Structure of ZnAl Layered Double Hydroxides and the Phosphate Adsorption	LU Ying, CHENG Xiang, XING Bo, <i>et al.</i> (2868)
Competitive Adsorption Kinetics of Aqueous Pb ²⁺ and Cu ²⁺ on Nano-HAP Surfaces	HU Tian-tian, CANG Long, WANG Yu-jun, <i>et al.</i> (2875)
Effects of pH and Ni ²⁺ on Sorption Behavior of Phenanthrene on Engineered Nano-Silica	LUO Pei, SUN Hong-wen, ZHANG Peng (2882)
Adsorption Characteristics and Mechanism of Uranium on Attapulgite	LIU Juan, CHEN Di-yun, ZHANG Jing, <i>et al.</i> (2889)
Adsorption Characteristics of Ciprofloxacin in Ustic Cambosols	CUI Hao, WANG Shu-ping (2895)
Kinetic Mechanism and Characteristics Researches for Hydrazine-based NO _x Removal at Moderate to High Temperatures	HONG Liu, CHEN De-zhen, WANG Du, <i>et al.</i> (2901)
Current Research Situation of H ₂ S Selective Catalytic Oxidation Technologies and Catalysts	HAO Zheng-ping, DOU Guang-yu, ZHANG Xin, <i>et al.</i> (2909)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军
朱永官 刘志培 汤鸿霄 陈吉宁 孟 伟 周宗灿 林金明
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2012年8月15日 33卷 第8期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 8 Aug. 15, 2012

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧阳自远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市2871信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码:100085) 电话:010-62941102, 010-62849343 传真:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel:010-62941102, 010-62849343; Fax:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷 装 订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科 学 出 版 社 电话:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京399信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 70.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行人