

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第37卷 第10期

Vol.37 No.10

2016

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

北京地区空气重污染下雾凇和偏东风对 PM_{2.5} 清除作用 孙兆彬, 廖晓农, 王占山, 李梓铭, 赵秀娟, 花丛 (3679)

降雨对不同粒径气溶胶粒子碰撞清除能力 董群, 赵普生, 陈一娜 (3686)

北京冬季雾霾频发期 VOCs 源解析及健康风险评价 刘丹, 解强, 张鑫, 王海林, 闫志勇, 杨宏伟, 郝郑平 (3693)

浙江省制鞋行业挥发性有机物污染特征及其排放系数 徐志荣, 姚轶, 蔡卫丹, 李嫣, 许明珠, 王浙明 (3702)

2014 年 APEC 期间北京市 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 氧化性损伤能力研究 郭茜, 邵龙义, 王文华, 侯聪, 赵承美, 幸娇萍, 马施民 (3708)

武汉市洪山区夏季 PM_{2.5} 浓度、水溶性离子与 PAHs 成分特征及来源分析 孙焰, 祁士华, 张莉, 邢新丽, 杨丹, 胡天鹏, 瞿程凯 (3714)

基于快速聚类方法分析常州市区 PM_{2.5} 的统计特性 王振, 余益军, 徐圃青, 李艳萍, 夏京, 殷磊 (3723)

PM_{2.5} 在线水溶性离子与滤膜采集-实验室检测的比对分析 杨懂艳, 刘保献, 石爱军, 张大伟, 丁萌萌, 周健楠, 富佳明, 景宽 (3730)

树木模拟燃烧排放烟尘中水溶性离子的组成 刘刚, 黄柯, 李久海, 徐慧 (3737)

轻型汽油车排放颗粒物数浓度和粒径分布特征 樊筱筱, 蒋靖坤, 张强, 李振华, 何立强, 吴焯, 胡京南, 郝吉明 (3743)

基于台架测试的我国船用柴油机废气排放因子 邢辉, 段树林, 黄连忠, 韩志涛, 刘勤安 (3750)

西安城区地表灰尘中邻苯二甲酸酯分布、来源及人群暴露 张文娟, 王利军, 王丽, 史兴民, 卢新卫 (3758)

生活垃圾焚烧厂垃圾的汞含量与汞排放特征研究 段振亚, 苏海涛, 王凤阳, 李智坚, 李韶璞, 王书肖 (3766)

三峡库区消落带土壤中硫酸盐还原菌对汞甲基化作用的影响 陈瑞, 陈华, 王定勇, 向玉萍, 申鸿 (3774)

城市化进程对地下河中溶解态正构烷烃来源的影响 廖昱, 孙玉川, 沈立成, 梁作兵, 王尊波 (3781)

基于 PMF 模型的长江流域水体中多环芳烃来源解析及生态风险评价 王成龙, 邹欣庆, 赵一飞, 李宝杰 (3789)

贡嘎山地区地表水化学特征及水环境质量评价 何晓丽, 吴艳宏, 周俊, 邴海健 (3798)

多元数理统计法研究太子河本溪城市段水体 DOM 紫外光谱特征 钱锋, 吴婕贻, 于会彬, 宋永会, 张美, 孔令昊, 何孟常 (3806)

地下水中溶解性有机物的垂直分布特征及成因 何小松, 张慧, 黄彩红, 李敏, 高如泰, 李丹, 席北斗 (3813)

昆明市不同功能区排水管道沉积物性质 常海东, 金鹏康, 付博文, 李雪兵, 贾锐珂 (3821)

滇池水生植物分布对沉积物间隙水磷浓度的影响 丁帅, 王圣瑞, 张蕊, 肖焱波, 焦立新, 李乐, 王忠诚, 尹诗诗 (3828)

紫色母岩覆盖层控制底泥磷释放的效果及机制 黄雪娇, 石纹豪, 倪九派, 李振轮 (3835)

排水循环灌溉下稻田磷素时空分布特征 焦平金, 许迪, 朱建强, 于颖多 (3842)

快速高效去除微囊藻的 GO/QPEI 复合纳米材料 李洁, 肖琳 (3850)

一体式生物净化-沉淀池对微污染水体污染物的强化去除性能 王文东, 刘荟, 马翠, 韩雨, 常妮妮 (3858)

生物粉末活性炭-超滤组合工艺对微污染水源水中臭味物质的去除效能及其微生物特性 宣雍祺, 周丽, 邓慧萍, 蔡宙, 李大鹏, 刘刚 (3864)

聚硅酸对不同形态铝沉积行为的影响 赵园园, 张玥, 李素英, 石宝友, 李贵伟, 孙改清 (3870)

典型南方水源氨基酸浓度变化与去除 刘伟, 蔡广强, 卢小艳, 刘丽君, 张金松, 刘嘉祺, 曲莹 (3877)

O₃/UV 降解含氮杂环化合物喹啉 陈傲蕾, 常凤民, 汪翠萍, 徐恒, 吴静, 左剑恶, 王凯军 (3884)

蒽醌-2-磺酸钠促进 *Klebsiella oxytoca* GS-4-08 脱色产氢机制与产能分析 胡金梅, 虞磊, 黄天寅 (3891)

2-丁烯醛生产废水中溶解性有机物的分级解析 孙秀梅, 宋广清, 席宏波, 周岳溪, 牛远方 (3899)

不同缺氧段硝酸盐氮浓度条件下连续流单污泥污水处理系统 PHA、TP 代谢 王晓玲, 员东丹, 白莉, 李紫棋, 余勇, 秦旭东, 张晓旭, 赵可 (3906)

长江口邻近海域沉积物中厌氧氨氧化细菌分布特征研究 付璐璐, 甄毓, 贺惠, 张玉, 米铁柱 (3914)

焦化废水活性污泥细菌菌群结构分析 蒙小俊, 李海波, 曹宏斌, 盛宇星 (3923)

黄土高原不同植被类型下土壤细菌群落特征研究 刘洋, 黄懿梅, 曾全超 (3931)

苯酚对活性污泥活性及微型动物群落结构的影响 胡小兵, 饶强, 唐素兰, 姜晶, 谢瑞桃, 郝文静, 钟梅英 (3939)

城市生活污水和生活垃圾渗滤液抗生素抗性基因污染的比较研究 黄福义, 李虎, 安新丽, 欧阳纬莹, 苏建强 (3949)

菌株 *Desulfovibrio* sp. CMX 的 DNRA 性能和影响因素 谢柄柯, 张玉, 王晓伟, 孙超越, 周集体 (3955)

生活污水灌溉对麦秸还田稻田氨挥发排放的影响 徐珊珊, 侯朋福, 范立慧, 薛利红, 杨林章, 王绍华, 李刚华 (3963)

模拟氮沉降对重庆缙云山马尾松林土壤呼吸和酶活性的季节性影响 曾清苹, 何丙辉, 李源, 夏力文, 杨龙龙, 邓雪梅, 李川 (3971)

生物炭添加和灌溉对温室番茄地土壤反硝化损失的影响 张文娟, 余冬立, Gamareldawla H. D. Agbna, 夏永秋 (3979)

土壤质地对自养固碳微生物及其同化碳的影响 王群艳, 吴小红, 祝贞科, 袁红朝, 隋方功, 葛体达, 吴金水 (3987)

土壤-作物系统中重金属元素吸收、迁移和积累过程模拟 施亚星, 吴绍华, 周生路, 王春辉, 陈浩 (3996)

组配改良剂对稻田系统 Pb、Cd 和 As 生物有效性的协同调控 王英杰, 邹佳玲, 杨文强, 周航, 廖柏寒 (4004)

几种有机物料对设施菜田土壤 Cd、Pb 生物有效性的影响 周贵宇, 姜慧敏, 杨俊诚, 张建峰, 张水勤, 梁雷 (4011)

蒙脱石对有机物料施入土壤磷形态和有效性的影响 宋贤威, 赵秀兰, 张进忠, 胡梦坤, 徐艳昭, 王明禹 (4020)

不同镉浓度及 pH 条件下纳米沸石对土壤镉形态及大白菜镉吸收的影响 秦余丽, 熊仕娟, 徐卫红, 赵婉伊, 王卫中, 陈永勤, 迟芬琳, 陈序根, 张进忠, 熊治庭, 王正银, 谢德体 (4030)

黑麦草和牵牛花对铬耐受能力和积累效果的指标表征研究 董冰冰, 陈友媛, 惠红霞, 陆维佳, 杨秀卿, 刘逸凡 (4044)

挥发性甲基硅氧烷的体外代谢行为 黎敏丹, 郑国贸, 万伟, 胡建英 (4054)

中药渣与城市污泥好氧共堆肥的效能 宿程远, 郑鹏, 阮祁华, 覃菁菁, 卢宇翔, 李俊兵 (4062)

《环境科学》征订启事 (3827) 《环境科学》征稿简则 (4053) 信息 (3736, 3930, 4043)

一体式生物净化-沉淀池对微污染水体污染物的强化去除性能

王文东^{1,2}, 刘荟¹, 马翠¹, 韩雨¹, 常妮妮¹

(1. 西安建筑科技大学环境与市政工程学院, 西安 710055; 2. 浙江清华长三角研究院生态环境研究所, 嘉兴 314006)

摘要: 本文针对现有饮用水净化工艺对溶解性组分的去除能力有限, 以及沉淀单元占地面积大, 功能单一的问题, 将生物转盘与平流沉淀池设计理念相结合, 开发出一种生物净化-沉淀工艺, 以提升系统对原水中浊度、有机物和氮磷的同步去除性能。结果表明, 生物转盘的设置并未干扰沉淀池原有的浊度去除功能。当进水有机负荷为 $0.46 \text{ g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$ 时, 生物沉淀池对有机组分、氨氮、总氮和总磷的去除率分别为 81.4%、95.0%、21.1% 和 86.0%。进一步研究发现, 反硝化和除磷过程对水相中的有限碳源存在竞争关系。进水有机负荷的上升, 有助于除磷过程的进行, 同时沉淀出水中残留的有机组分和氨氮含量几乎不受影响, 表明工艺具有一定抗冲击负荷能力, 在微污染水体的强化净化处理中具有一定的应用前景。

关键词: 生物转盘; 沉淀池; 有机负荷; 微污染; 硝化; 反硝化

中图分类号: X52; X824 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2016)10-3858-06 DOI: 10.13227/j.hjxx.2016.10.025

Enhanced Pollutant Removal Performance of an Integrated Biological Settling Tank from Micro-polluted Water Bodies

WANG Wen-dong^{1,2}, LIU Hui¹, MA Cui¹, HAN Yu¹, CHANG Ni-ni¹

(1. School of Environmental and Municipal Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China; 2. Department of Environmental Technology and Ecology, Yangtze Delta Region Institute of Tsinghua University, Jiaxing 314006, China)

Abstract: To improve the capacity of present drinking water purification process on the removal of soluble pollutants and solve the problem of large area requirement and single function existing in the application of horizontal sedimentation tank, a novel biological settling tank was developed based on the designing concepts of rotating biological disk and sedimentation tank. Experimental results showed that the usage of rotating biological disk did not have notable effects on the turbidity removal capacity of the horizontal sedimentation tank. When the organic loading rate was $0.46 \text{ g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$, the removal rates of organic pollutants, $\text{NH}_4^+ \text{-N}$, TN, and TP were determined to be 81.4%, 95.0%, 21.1% and 86.0%, respectively. Further study showed that denitrification and dephosphorization processes competed for the limited carbon source existing in the water phase. With the increase of organic loading rate in the raw water, the removal rate of TP was improved. Meanwhile, the concentrations of organic matters and $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ in the settled water were not affected, which indicated that the biological settling tank showed a capacity in resisting organic loading rate shock and could be used in the enhanced pollutant removal in treating micro-polluted water.

Key words: rotating biological disk; settling tank; organic loading rate; micro-polluted water; nitrification; denitrification

随着我国经济的快速发展, 城市生活污水和工业废水的大量排放, 大多数饮用水源均受到了不同程度的污染^[1]。氮、磷污染已成为破坏水体环境的主要因素之一, 生物脱氮除磷越来越受到人们的重视^[2-5]。以氨氮为例, 其在地表水中的浓度在枯水期一般在 $1.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 以上, 个别时段甚至达到 $3.0 \sim 4.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ^[6]。然而, 现有以混凝-沉淀-过滤-消毒为代表的传统净水工艺对有机物和氨氮等溶解性污染物的去除效果十分有限^[7,8], 易引起微生物在管网中的二次繁殖, 存在生物安全风险。因此, 通过新工艺开发或现有工艺优化, 控制有机物以及氮磷在水厂处理出水中的含量, 是当前水质净化面临的主要问题之一^[1]。将生物法用于饮用水净化过程, 已经成为微污染水体强化净化技术的重要发展方

向。生物转盘具有生物相分级、耐冲击负荷能力强、污泥量少、动力消耗低、维护管理方便等优点^[9-12], 在微污染水体的净化处理中具有良好的推广应用前景。目前, 该技术作为预处理手段在日本、我国大陆和台湾地区均有应用实例^[13]。与生物转盘技术相比, 平流式沉淀池具有相近的水力停留时间, 但污染物去除功能相对单一。本文结合两工艺自身特点, 提出一体式生物净化-沉淀技术, 并通过实验室小试研究, 评价了该技术对微污染水体中有机物、氨氮、总氮、总磷以及浊度的综合去除性能,

收稿日期: 2016-04-03; 修订日期: 2016-05-11

基金项目: 国家自然科学基金项目(21007050); 陕西省重大科技成果转化引导专项(2016KTCC01-17)

作者简介: 王文东(1980~), 男, 副教授, 主要研究方向为水处理理论与技术, E-mail: wdwang_xauat@hotmail.com

以期为微污染源水的强化处理和现有净化工艺技术改造提供理论和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 实验用水

实验用水均取自西安市主要供水水源黑河水库,现场检测水温在 14 ~ 17℃ 之间,其它各项水质指标如表 1 所示。我国典型城市污水属于低碳源污水,因此应投加外部碳源以满足脱氮除磷的需要^[14~17]。实验过程中通过投加一定数量的乙酸钠(代表水源水体中难降解有机组分)调节系统进水中的有机组分含量。

表 1 原水水质

项目	范围	均值
pH	6.9 ~ 7.2	7.1
浊度/NTU	0.35 ~ 3.50	1.93
总有机碳/mg·L ⁻¹	1.57 ~ 7.10	4.34
氨氮/mg·L ⁻¹	0.64 ~ 0.70	0.67
亚硝酸氮/mg·L ⁻¹	0.02	0.02
硝酸氮/mg·L ⁻¹	0.59 ~ 1.00	0.80
TP/mg·L ⁻¹	0.20 ~ 0.24	0.22

1.2 实验装置

实验室所用一体化生物净化-沉淀池如图 1 所示。其主体结构分上下两个功能区,上部分为转盘区,下部为沉淀区。转盘区采用单轴单级的连接方式,转盘直径在 100 mm 左右,浸没面积占盘片面积的 40%。转轴贯穿生物转盘的形心,并固定在两端支架上,转速控制在 3.0 r·min⁻¹。实验用水经混凝处理后进入一体化生物净化-沉淀装置。混凝条件如下:原水投加 5.0 mg·L⁻¹ 的聚合氯化铝(PACl)后,在 200 r·min⁻¹ 的搅拌强度下反应 1.0 min;而后,在 50 r·min⁻¹ 的搅拌强度下反应 15 min。混凝出水在装置上部与转盘表面的生物膜接触、吸附并最终净化去除,转盘区老化脱落的生物膜连同混凝絮体进入下部沉淀区,定期排放。

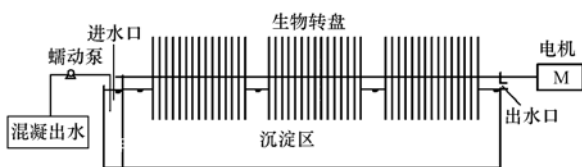


图 1 实验装置流程示意

Fig. 1 Flow chart of the experimental system

1.3 实验方法

挂膜成功后,继续维持原水中的总磷和氨氮浓

度分别在 0.20 ~ 0.24 mg·L⁻¹ 和 0.64 ~ 0.70 mg·L⁻¹,通过投加乙酸钠,改变进水中的总有机碳(TOC)含量,使其处于不同的浓度水平。每次调整系统进水中的有机物浓度后,留有 1 ~ 2 周的观察期。待系统再次稳定后,连续监测出水浊度,以及 TOC、总磷、氨氮和总氮含量,以评价系统对污染物的去除性能。

1.4 分析方法

装置出水的温度、pH 和浊度分别采用水银温度计、玻璃电极法和浊度计(HI93703-11, HANNA, 意大利)测定;总有机碳(TOC)采用总有机碳分析仪(TOC-5000A, 岛津, 日本)测定;氨氮和总氮分别采用纳氏试剂分光光度法和碱性过硫酸钾消解分光光度法(普析 TU-1901 紫外可见分光光度计)测定;总磷采用钼酸铵分光光度法(普析 TU-1901 紫外可见分光光度计)测定^[18]。

1.5 盘片的挂膜

本实验采用直接挂膜的方式,利用河水作为挂膜用水。挂膜期间,维持进水水温 14 ~ 17℃, pH 在 7.0 左右,生物转盘转速 3.0 r·min⁻¹,水力停留时间 2.0 h 的条件下,连续运行 40 d 后,转盘表面形成一层构造均匀、薄且致密的生物膜,认为挂膜成功^[7]。在特定的进水水质条件和系统运行工况条件下,出水中残留的污染物浓度相对稳定,后续特定有机负荷条件下所得有机组分、氨氮、总氮和浊度的残留量和去除率数据,均为连续监测数据的平均值。

2 结果与讨论

2.1 一体化生物净化沉淀装置对浊度的去除性能

浊度是水中反映颗粒物质量浓度的综合指标。对于饮用水来说,浊度降低,水的色度、嗅味、有机物含量也相应降低^[19]。因此,出水浊度是沉淀池运行效果的重要评价依据。为考察一体化生物净化沉淀装置对混凝出水中悬浮颗粒的去除性能,本研究对装置的进出水浊度进行了连续监测。以混凝出水作为装置进水,混凝前向水中投加不同浓度的乙酸钠调节系统的有机负荷,在不同有机负荷条件下,沉淀出水中浊度的残留量和去除效率如图 2 所示。从中可知,原水中有机负荷的增加对装置出水中致浊物质的残留并无明显影响,出水浊度稳定在 0.39 NTU 左右。膜生物工艺对废水浊度的去除主要是依靠附着生物膜对悬浮物和胶体的物理截留作用以及吸附、絮凝和降解作用^[20,21]。依据固体微粒絮凝沉淀理论,其在出水中的残留量主要与水温、水力停

留时间以及沉淀池的表面积有关. 有机负荷的变化对上述因子并无直接影响. 同时, 贫营养状态下盘片上附着的生物量并不大, 进水有机负荷的变化也并未引起生物膜的大量脱落, 这可能是系统对浊度具有稳定去除效率的主要原因.

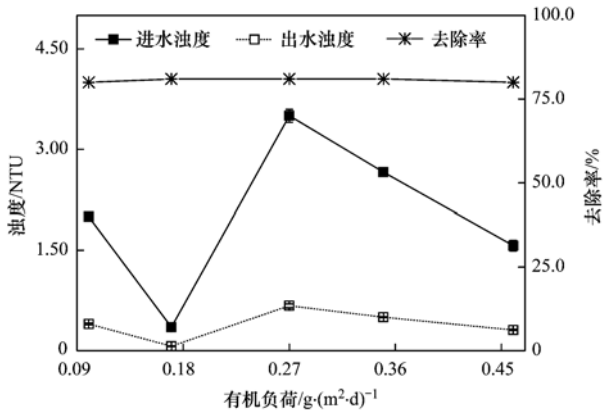


图2 不同有机负荷下浊度的去除效果
Fig. 2 Turbidity removal performance at different organic loading rates

2.2 一体化生物净化装置对营养物质的去除性能

2.2.1 TOC

与生活污水不同, 天然水体中的有机组分含量低, 可生物降解性能相对较差. 本研究通过向混凝前的水中投加不同浓度的乙酸钠(难降解有机组分)调节系统的有机负荷, 以期所得研究结果可与实际情况相吻合. 图3为不同有机负荷条件下, 一体化生物净化装置对水中有机组分的去除效果. 从中可知, 随着系统进水有机负荷的增加, 装置处理出水中的TOC含量呈现一定程度的上升趋势, 但绝对增加量并不显著. 当系统有机负荷为 $0.1 \text{ g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$ 时, 处理出水中有机组分的残留量(以TOC计, 下同)为 $0.73 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$; 当有机负荷增至 $0.46 \text{ g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$ 时, 有机组分的残留量约为 $1.32 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. 这表明一体化生物净化沉淀装置对系统进水中的有机组分负荷波动具有一定的抗冲击能力. 这一性能从有机组分的去除率上观察则更为明显, 即随着系统进水有机负荷的增加, TOC的去除率呈现明显的上升趋势, 由 $0.1 \text{ g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$ 时的 53.4% 迅速增至 82.0%, 而后则相对稳定. 这表明当进水有机负荷在 $0.27 \text{ g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$ 以上时, 系统的抗冲击负荷能力开始出现下降. 控制系统进水有机负荷在 $0.27 \text{ g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$ 以下, 有利于保证有机组分去除的稳定性.

生物转盘为微生物生长提供了稳定接触面和较

长的生长时间, 形成了与低负荷环境相适应的难降解有机组分的生物降解群落. 微生物在好氧、缺氧和厌氧交替存在的环境下, 进行难降解有机组分的水解酸化、氧化降解或吸收利用, 进而保证了系统在不同负荷下对有机组分的降解性能. 在低负荷条件下, 有机组分含量是限制微生物生长的重要因素之一. 随着进水有机组分含量的增加, 改善了转盘表面微生物的生长潜力和代谢活性, 负荷增加对系统出水带来的影响经过短暂的缓冲即可修复. 但当进水有机负荷增至 $0.27 \text{ g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$ 以上时, 水中氮源相对不足, 不利于新细胞的合成, 可能是影响有机组分去除的制约因素.

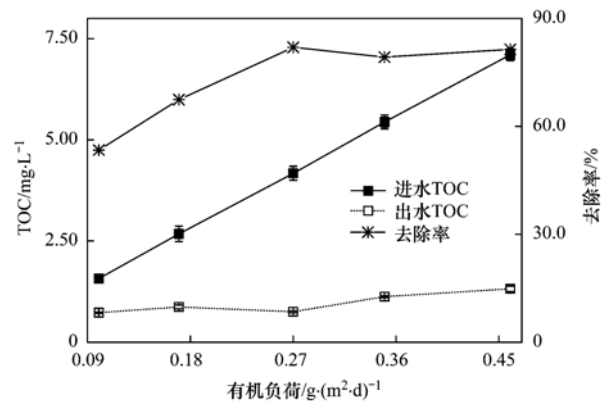


图3 不同有机负荷下有机组分的去除效果
Fig. 3 Organic pollutant removal performance at different organic loading rates

2.2.2 NH_4^+ -N和TN

本研究结果表明, 进水氨氮浓度维持在 $0.63 \sim 0.71 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 总氮维持在 $1.5 \sim 2.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 范围内时, 随着有机负荷的增加, 处理出水中氨氮的浓度一直在检测限以下, 平均去除率在 95% 以上. 这说明转盘对水中氨氮具有良好的硝化性能(图4). 这可能与原水中的有机组分相对较低, 限制了异养菌的大量繁殖, 以及转盘为自养型的硝化菌或亚硝化菌提供了稳定接触面有关. 同时, 在转盘旋转过程中, 大气中的溶解氧可及时进入生物膜^[22], 为硝化反应提供充足的电子受体, 进而保证了氨氮向亚硝态氮和硝态氮的转化效率^[7].

反硝化则主要是由异养菌在缺氧环境中完成的, 以有机物为电子受体和营养源, 若有机组分含量不足, 将抑制反硝化过程的进行^[23]. 由图5可知, 装置出水中的硝酸盐氮浓度随进水有机负荷的变化出现一定波动. 当进水有机负荷小于 $0.27 \text{ g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$ 时, 出水中硝酸盐氮的浓度与进水有机负荷正相关; 而当进水有机负荷在 0.27

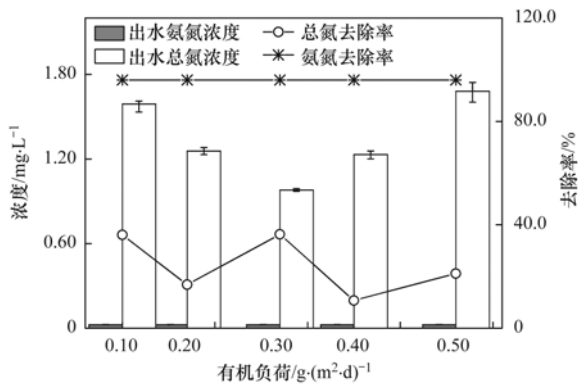


图4 不同有机负荷下氨氮和总氮的去除效果

Fig. 4 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ and TN removal performances at different organic loading rates

$\text{g}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{d})^{-1}$ 以上时,出水中的硝酸盐氮浓度与进水有机负荷呈现负相关关系.这可能是由于碳源投加量较少时,反硝化菌与其他异养菌竞争有限碳源时更具优势^[7],随着有机负荷的增加,系统中异养微生物生长优势则强于反硝化细菌,使处理出水中的硝酸盐氮含量上升.

综上分析可知,在低营养环境下,进水中有机负荷的增加在为反硝化细菌提供电子受体和营养源的前提下,并未使亚硝酸菌和硝酸菌成为劣势菌群,限制氨氮向硝酸盐氮的转化.同时,不同有机负荷下氨氮和总氮有着相近的变化趋势.这说明亚硝态氮和硝态氮在体系中有一定的残留,反硝化过程是影响总氮去除的关键因素.

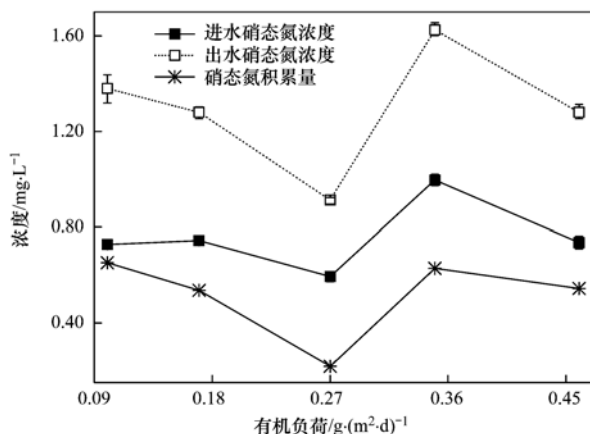


图5 不同有机负荷下硝酸盐氮的去除效果

Fig. 5 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ removal performance at different organic loading rates

2.2.3 TP

系统的除磷作用包括聚磷菌对磷的厌氧释放和好氧吸收两个过程.厌氧阶段的释磷过程有助于好氧阶段对磷的过量吸收^[24,25],而在厌氧阶段能否充分释磷很大程度上取决于可供利用的有机物含

量^[23].因此,进水有机负荷的变化对总磷在生物净化沉淀装置中的去除效率也将存在一定的影响.由图6可知,当进水有机负荷在 $0.27\text{ g}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{d})^{-1}$ 以下时,TP去除率相对稳定,在67.4%~75.4%之间波动.而当进水有机负荷在 $0.27\text{ g}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{d})^{-1}$ 以上时,TP的去除率呈显著增加趋势.当进水中有机负荷在 $0.46\text{ g}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{d})^{-1}$ 时,净化出水中TP的残留量约为 $0.029\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,去除率在85.9%左右.对比相同条件下硝酸盐氮的去除规律可知,反硝化菌和聚磷菌对有限碳源存在竞争关系^[26].进水中有机组分含量的增加,提高了系统有机负荷,缓解了体系碳源不足的问题,进而提升了装置对磷的去除能力.这与刘方婧等^[27]研究 A^2O 工艺对磷的去除性能的结论基本一致.

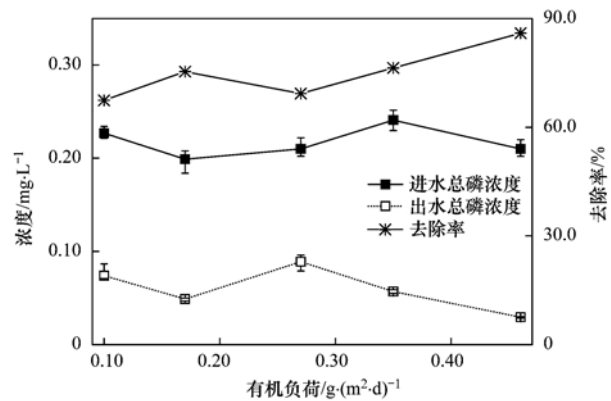


图6 不同有机负荷下TP的去除效果

Fig. 6 TP removal performance at different organic loading rates

3 结论

本文将生物转盘与平流沉淀池设计理念相结合,开发出一种一体式生物净化沉淀工艺,实验室研究表明,工艺对生物转盘的设置以及进水有机负荷的变化并未对沉淀池原有的悬浮物去除功能存在显著影响,出水中浊度的残留量稳定在0.39 NTU左右.同时,工艺对原水中的有机组分、氨氮、总氮和总磷均有一定的去除功能;当进水有机负荷在 $0.46\text{ g}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{d})^{-1}$ 时,上述各项指标的去除率分别为81.4%、95.0%、21.1%和86.0%.随着进水有机负荷的上升,工艺对总磷的去除性能略有增强,但反硝化过程将受到一定的影响,氨氮和有机组分的残留量则相对稳定.表明工艺具有一定抗冲击负荷能力,在低有机负荷条件下仍可实现有机物、氮磷以及致浊物质的同步去除;考虑到组合工艺具有结构紧凑、占地面积省,处理效果稳定等优点,在微污染水体的强化净化处理中具有一定的应用前景.

参考文献:

- [1] 熊水应, 李翠红. MBBR 工艺在微污染原水预处理中的应用[J]. 给水排水, 2010, **36**(7): 25-29.
Xiong S Y, Li C H. Application of MBBR in micro-polluted raw water pretreatment[J]. Water & Wastewater Engineering, 2010, **36**(7): 25-29.
- [2] 刘小英, 林慧, 马兆瑞, 等. 同步脱氮除磷颗粒污泥硝化反硝化特性试验研究[J]. 环境科学, 2014, **35**(1): 214-220.
Liu X Y, Lin H, Ma Z R, et al. Characteristics of nitrification and denitrification for simultaneous nitrogen and phosphorus removal by granular sludge[J]. Environmental Science, 2014, **35**(1): 214-220.
- [3] 陈永志, 彭永臻, 王建华, 等. 内循环对 A²/O-曝气生物滤池工艺脱氮除磷特性影响[J]. 环境科学, 2011, **32**(1): 193-198.
Chen Y Z, Peng Y Z, Wang J H, et al. Effect of internal recycle ratio on nitrogen and phosphorus removal characteristics in A²/O-BAF process[J]. Environmental Science, 2011, **32**(1): 193-198.
- [4] Ma Y, Peng Y Z, Wang X L. Improving nutrient removal of the AAO process by an influent bypass flow by denitrifying phosphorus removal[J]. Desalination, 2009, **246**(1-3): 534-544.
- [5] 张杰, 臧景红, 杨宏, 等. A²/O 工艺的固有缺欠和对策研究[J]. 给水排水, 2003, **29**(3): 22-26.
Zhang J, Zang J H, Yang H, et al. A study on the inherent shortcomings and countermeasures of the A²/O process [J]. Water & Wastewater Engineering, 2003, **29**(3): 22-26.
- [6] 陆少鸣, 杨立, 陈艺韵, 等. 高速给水曝气生物滤池预处理微污染原水[J]. 中国给水排水, 2009, **25**(18): 65-70.
Lu S M, Yang L, Chen Y Y, et al. High-rate UBAF for pretreatment of micro-polluted raw water[J]. China Water & Wastewater, 2009, **25**(18): 65-70.
- [7] 陆少鸣, 李芳, 李少文. 高速给水曝气生物滤池应用于大型自来水厂的预处理[J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 2012, **40**(5): 65-70.
Lu S M, Li F, Li S W. Application of high-rate up-flow biological aerated filter to pretreatment for large-scale waterworks [J]. Journal of South China University of Technology (Natural Science Edition), 2012, **40**(5): 65-70.
- [8] 叶少帆, 王志伟, 吴志超. 微污染水源水处理技术研究进展和对策分析[J]. 水处理技术, 2010, **36**(6): 22-28, 46.
Ye S F, Wang Z W, Wu Z C. Progress of slightly polluted water resource treatment technology and evaluation on treatment measures[J]. Technology of Water Treatment, 2010, **36**(6): 22-28, 46.
- [9] 唐奕, 李袁琴, 郭勇, 等. 两种载体用于生物转笼处理生活污水的比较[J]. 环境科学与技术, 2011, **34**(12): 174-177.
Tang Y, Li Y Q, Guo Y, et al. Comparison between two carriers used for treating domestic wastewater in biological rotating cage reactor[J]. Environmental Science & Technology, 2011, **34**(12): 174-177.
- [10] Alemzadeh I, Vossoughi F, Houshmandi M. Phenol biodegradation by rotating biological contactor[J]. Biochemical Engineering Journal, 2002, **11**(1): 19-23.
- [11] Kapdan I K, Kargi F. Biological decolorization of textile dyestuff containing wastewater by *Coriolus versicolor* in a rotating biological contactor [J]. Enzyme and Microbial Technology, 2002, **30**(2): 195-199.
- [12] 杨蓉, 吕永涛, 王志盈. 生物转盘系统中短程硝化的实现[J]. 环境科学与技术, 2009, **32**(4): 70-73.
Yang R, Lv Y T, Wang Z Y. Realization of SHARON in rotating biological contactor[J]. Environmental Science & Technology, 2009, **32**(4): 70-73.
- [13] 肖华, 周荣丰. 微污染水源水处理技术的现状与发展[J]. 北方环境, 2005, **30**(1): 62-66.
Xiao H, Zhou R F. Present situation and development of micro-polluted water treatment[J]. North Environment, 2005, **30**(1): 62-66.
- [14] 罗哲, 周光杰, 刘宏波, 等. 污泥厌氧产酸发酵液作碳源强化污水脱氮除磷中试研究[J]. 环境科学, 2015, **36**(3): 1000-1005.
Luo Z, Zhou G J, Liu H B, et al. Enhanced nitrogen and phosphorus removal of wastewater by using sludge anaerobic fermentation liquid as carbon source in a pilot-scale system[J]. Environmental Science, 2015, **36**(3): 1000-1005.
- [15] Kampas P, Parsons S A, Pearce P, et al. An internal carbon source for improving biological nutrient removal[J]. Bioresource Technology, 2009, **100**(1): 149-154.
- [16] Lim S J, Kim B J, Jeong C M, et al. Anaerobic organic acid production of food waste in once-a-day feeding and drawing-off bioreactor[J]. Bioresource Technology, 2008, **99**(16): 7866-7874.
- [17] Dytczak M A, Londry K L, Siegrist H, et al. Ozonation reduces sludge production and improves denitrification [J]. Water Research, 2007, **41**(3): 543-550.
- [18] 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. 279-281.
- [19] 左金龙, 崔福义, 赵志伟, 等. PAC-SMBR 处理低温低浊微污染原水的研究[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版), 2006, **22**(2): 311-314.
Zuo J L, Cui F Y, Zhao Z W, et al. Study on the treatment of low temperature and low turbidity micro-polluted raw water by PAC-SMBR process[J]. Journal of Shenyang Jianzhu University (Natural Science), 2006, **22**(2): 311-314.
- [20] 李克青, 马耀光, 李刚, 等. 折流生物膜工艺处理低浓度废水试验[J]. 环境工程, 2010, **28**(2): 17-20.
Li K Q, Ma Y G, Li G, et al. Test of treatment of low concentration domestic sewage by baffled bio-film process[J]. Environmental Engineering, 2010, **28**(2): 17-20.
- [21] 季民, 吴昌敏, 贾霞珍, 等. 生物接触氧化法对引漆水中藻类的去除[J]. 中国给水排水, 2003, **19**(8): 56-58.
Ji M, Wu C M, Jia X Z, et al. Biological contact oxidation process for algae removal from water diverted from the Luanhe River[J]. China Water & Wastewater, 2003, **19**(8): 56-58.
- [22] DeMoyer C D, Schierholz E L, Gulliver J S, et al. Impact of bubble and free surface oxygen transfer on diffused aeration systems[J]. Water Research, 2003, **37**(8): 1890-1904.
- [23] 张耀斌, 吴广华, 邢亚彬, 等. COD 进水浓度对 SBMBBR 脱氮除磷效果影响[J]. 大连理工大学学报, 2008, **48**(3): 329-333.
Zhang Y B, Wu G H, Xing Y B, et al. Effect of COD concentration on phosphorus and nitrogen removal in SBMBBR [J]. Journal of Dalian University of Technology, 2008, **48**(3):

- 329-333.
- [24] Jonsson K, Johansson P, Christensson M, *et al.* Operational factors affecting enhanced biological phosphorus removal at the waste water treatment plant in Helsingborg, Sweden[J]. *Water Science and Technology*, 1996, **34**(1-2): 67-74.
- [25] 陈晓暘, 薛智勇, 肖景霓, 等. 曝气强度对 AOA 膜生物反应器脱氮除磷性能的影响[J]. *环境科学*, 2011, **32**(10): 2979-2985.
- Chen X Y, Xue Z Y, Xiao J N, *et al.* Effect of aeration intensity on the nitrogen and phosphorus removal performance of AOA membrane bioreactors [J]. *Environmental Science*, 2011, **32**(10): 2979-2985.
- [26] 程继辉, 吴鹏, 程朝阳, 等. 基于优质碳源提供的 CAMBR 复合工艺短程硝化-反硝化除磷研究[J]. *环境科学*, 2015, **36**(12): 4539-4545.
- Cheng J H, Wu P, Cheng C Y, *et al.* Shortcut nitrosation-denitrifying phosphorus removal based on high-quality carbon source in combined process of CAMBR [J]. *Environmental Science*, 2015, **36**(12): 4539-4545.
- [27] 刘方婧, 段怡彤, 赵健慧, 等. 不同浓度外加碳源对 A²/O 系统的冲击及修复前后脱氮除磷效果研究[J]. *环境污染与防治*, 2014, **36**(4): 1-6.
- Liu F J, Duan Y T, Zhao J H, *et al.* Impact of external carbon source on A²/O system and its biological phosphorus and nitrogen removal efficiency before and after restoration[J]. *Environmental Pollution and Control*, 2014, **36**(4): 1-6.

CONTENTS

Scavenging Effect of Rime and East Wind on PM _{2.5} Under Air Heavy Pollution in Beijing	SUN Zhao-bin, LIAO Xiao-nong, WANG Zhan-shan, <i>et al.</i> (3679)
Impact of Collision Removal of Rainfall on Aerosol Particles of Different Sizes	DONG Qun, ZHAO Pu-sheng, CHEN Yi-na (3686)
Source Apportionment and Health Risk Assessment of VOCs During the Haze Period in the Winter in Beijing	LIU Dan, XIE Qiang, ZHANG Xin, <i>et al.</i> (3693)
Pollution Characteristics and Emission Coefficient of Volatile Organic Compounds from Shoe-making Industry in Zhejiang Province	XU Zhi-rong, YAO Yi, CAI Wei-dan, <i>et al.</i> (3702)
Oxidative Capacity of the PM ₁₀ and PM _{2.5} in Beijing During 2014 APEC	GUO Qian, SHAO Long-yi, WANG Wen-hua, <i>et al.</i> (3708)
Concentration, Water-Soluble Ionic and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Composition and Sources of PM _{2.5} During Summer in Hongshan District, Wuhan	SUN Yan, QI Shi-hua, ZHANG Li, <i>et al.</i> (3714)
Statistical Characteristics of Urban Changzhou PM _{2.5} Based on <i>k</i> -means Analysis	WANG Zhen, YU Yi-jun, XU Pu-qing, <i>et al.</i> (3723)
Comparison Test Between On-line Monitoring of Water-soluble Ions and Filter-based Manual Methods for PM _{2.5}	YANG Dong-yan, LIU Bao-xian, SHI Ai-jun, <i>et al.</i> (3730)
Chemical Composition of Water-soluble Ions in Smoke Emitted from Tree Branch Combustion	LIU Gang, HUANG Ke, LI Jiu-hai, <i>et al.</i> (3737)
Number Concentration and Size Distribution of Particles Emitted by Light-duty Gasoline Vehicles	FAN Xiao-xiao, JIANG Jing-kun, ZHANG Qiang, <i>et al.</i> (3743)
Testbed-Based Exhaust Emission Factors for Marine Diesel Engines in China	XING Hui, DUAN Shu-lin, HUANG Lian-zhong, <i>et al.</i> (3750)
Distribution, Source and Human Exposure of Phthalic Acid Esters (PAEs) in Surface Dust in Urban Area of Xi'an City, China	ZHANG Wen-juan, WANG Li-jun, WANG Li, <i>et al.</i> (3758)
Mercury Emission Characteristics and Mercury Concentrations of Municipal Solid Waste in Waste Incineration Plants	DUAN Zhen-ya, SU Hai-tao, WANG Feng-yang, <i>et al.</i> (3766)
Role of Sulfate-Reducing Bacteria in Mercury Methylation in Soil of the Water-Level-Fluctuating Zone of the Three Gorges Reservoir Area	CHEN Rui, CHEN Hua, WANG Ding-yong, <i>et al.</i> (3774)
Impact of Urbanization on the Sources of Dissolved <i>n</i> -alkane in Underground River	LIAO Yu, SUN Yu-chuan, SHEN Li-cheng, <i>et al.</i> (3781)
Source Apportionment and Ecological Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Surface Water from Yangtze River, China; Based on PMF Model	WANG Cheng-long, ZOU Xin-qing, ZHAO Yi-fei, <i>et al.</i> (3789)
Hydro-chemical Characteristics and Quality Assessment of Surface Water in Gongga Mountain Region	HE Xiao-li, WU Yan-hong, ZHOU Jun, <i>et al.</i> (3798)
UV-Visible Spectra Properties of DOM from Taizi River in Benxi City Section by Multivariable Analysis	QIAN Feng, WU Jie-yun, YU Hui-bin, <i>et al.</i> (3806)
Vertical Distribution Characteristics of Dissolved Organic Matter in Groundwater and Its Cause	HE Xiao-song, ZHANG Hui, HUANG Cai-hong, <i>et al.</i> (3813)
Sediment Characteristics of Sewer in Different Functional Areas of Kunming	CHANG Hai-dong, JIN Peng-kang, FU Bo-wen, <i>et al.</i> (3821)
Concentration of Phosphorus in Sediments Interstitial Water as Affected by Distribution of Aquatic Plants in Dianchi Lake	DING Shuai, WANG Sheng-rui, ZHANG Rui, <i>et al.</i> (3828)
Efficiency and Mechanism of Capping with Purple Parent Rocks to Control Phosphorus Release from Sediments	HUANG Xue-jiao, SHI Wen-hao, NI Jiu-pai, <i>et al.</i> (3835)
Temporal and Spatial Distribution of Phosphorus in Paddy Fields Under Cyclic Irrigation of Drainage Water	JIAO Ping-jin, XU Di, ZHU Jian-qiang, <i>et al.</i> (3842)
GO/QPEI Nanocomposite for Fast and High-capacity Removal of <i>M. Aeruginosa</i>	LI Jie, XIAO Lin (3850)
Enhanced Pollutant Removal Performance of an Integrated Biological Settling Tank from Micro-polluted Water Bodies	WANG Wen-dong, LIU Hui, MA Cui, <i>et al.</i> (3858)
Odorants Removal and Microbial Characteristics in Treatment of Micro-polluted Source Water with Biological Powdered Activated Carbon-Ultrafiltration Combined Process	XUAN Yong-qi, ZHOU Li, DENG Hui-ping, <i>et al.</i> (3864)
Effect of Polysilicic Acid on the Deposition Behavior of Different Aluminum Species	ZHAO Yuan-yuan, ZHANG Yue, LI Su-ying, <i>et al.</i> (3870)
Concentration Variation and Removal of Amino Acids in Typical Drinking Sources in the South of China	LIU Wei, CAI Guang-qiang, LU Xiao-yan, <i>et al.</i> (3877)
Degradation of the Nitrogenous Heterocyclic Compound Quinoline by O ₃ /UV	CHEN Ao-lei, CHANG Feng-min, WANG Cui-ping, <i>et al.</i> (3884)
Impact of Anthraquinone-2-sulfonic Acid on the MO Decolorization, Hydrogen Production and Energy Creation During Anaerobic Fermentation of <i>Klebsiella oxytoca</i> GS-4-08 with Sucrose	HU Jin-mei, YU Lei, HUANG Tian-yin (3891)
Classification and Analysis of Dissolved Organic Matter in 2-Buternal Manufacture Wastewater	SUN Xiu-mei, SONG Guang-qing, XI Hong-bo, <i>et al.</i> (3899)
Concentration of Nitrate in Main Anoxic Stage and PHA, TP Metabolism for Nitrogen and Phosphorus Removal in Single Sludge System with Continuous Flow	WANG Xiao-ling, YUAN Dong-dan, BAI Li, <i>et al.</i> (3906)
Distribution Characteristics of Anaerobic Ammonia Oxidation Bacteria in Sediments from the Adjacent Seas of Yangtze Estuary	FU Lu-lu, ZHEN Yu, HE Hui, <i>et al.</i> (3914)
Bacterial Community Composition of Activated Sludge from Coking Wastewater	MENG Xiao-jun, LI Hai-bo, CAO Hong-bin, <i>et al.</i> (3923)
Soil Bacterial Communities Under Different Vegetation Types in the Loess Plateau	LIU Yang, HUANG Yi-mei, ZENG Quan-chao (3931)
Effects of Phenol on Activity and Microfauna Community Structure of Activated Sludge	HU Xiao-bing, RAO Qiang, TANG Su-lan, <i>et al.</i> (3939)
Comparative Investigation of Antibiotic Resistance Genes Between Wastewater and Landfill Leachate	HUANG Fu-yi, LI Hu, AN Xin-li, <i>et al.</i> (3949)
Performance and Influencing Factors of Dissimilatory Nitrate Reduction to Ammonium Process by the Strain <i>Desulfonitrospira</i> sp. CMX	XIE Bing-ke, ZHANG Yu, WANG Xiao-wei, <i>et al.</i> (3955)
Effect of Straw Incorporation and Domestic Sewage Irrigation on Ammonia Volatilization from Paddy Fields	XU Shan-shan, HOU Peng-fu, FAN Li-hui, <i>et al.</i> (3963)
Seasonal Effect of Simulated Nitrogen Deposition on Soil Respiration and Soil Enzyme Activity in Masson Pine Forest in Mt. Jinyun, Chongqing, China	ZENG Qing-ping, HE Bing-hui, LI Yuan, <i>et al.</i> (3971)
Effects of Biochar Amendment and Irrigation on Denitrification Losses in Greenhouse Tomato Fields	ZHANG Wen-juan, SHE Dong-li, Gamareldawla H. D. Agbna, <i>et al.</i> (3979)
Effects of Soil Texture on Autotrophic CO ₂ Fixation Bacterial Communities and Their CO ₂ Assimilation Contents	WANG Qun-yan, WU Xiao-hong, ZHU Zhen-ke, <i>et al.</i> (3987)
Simulation of the Absorption, Migration and Accumulation Process of Heavy Metal Elements in Soil-crop System	SHI Ya-xing, WU Shao-hua, ZHOU Sheng-lu, <i>et al.</i> (3996)
Synergetic Control of Bioavailability of Pb, Cd and As in the Rice Paddy System by Combined Amendments	WANG Ying-jie, ZOU Jia-ling, YANG Wen-tao, <i>et al.</i> (4004)
Effects of Different Organic Materials on Bio-availability of Cd, Pb in a Contaminated Greenhouse Soil	ZHOU Gui-yu, JIANG Hui-min, YANG Jun-cheng, <i>et al.</i> (4011)
Effect of Montmorillonite on Fractions and Availability of Phosphorus in Soils Applied with Organic Fertilizer	SONG Xian-wei, ZHAO Xiu-lan, ZHANG Jin-zhong, <i>et al.</i> (4020)
Effect of Nano Zeolite on Chemical Fractions of Cd in Soil and Uptake by Chinese Cabbage at Different Soil pH and Cadmium Levels	QIN Yu-li, XIONG Shi-juan, XU Wei-hong, <i>et al.</i> (4030)
Characterization of Cr Tolerance and Accumulation in <i>Lolium perenne</i> L. and <i>Pharbitis purpurea</i> (L.) Voigt	DONG Bing-bing, CHEN Yu-yuan, HUI Hong-xia, <i>et al.</i> (4044)
<i>In vitro</i> Metabolism of Volatile Methyl Siloxanes	LI Min-dan, ZHENG Guo-mao, WAN Yi, <i>et al.</i> (4054)
Efficiency of Aerobic Co-composting of Urban Sludge and Chinese Medicinal Herbal Residues	SU Cheng-yuan, ZHENG Peng, RUAN Qi-hua, <i>et al.</i> (4062)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 赵进才

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 刘 毅 汤鸿霄 孟 伟 周宗灿 林金明
赵进才 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)

2016年10月15日 第37卷 第10期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 37 No. 10 Oct. 15, 2016

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	赵进才	Editor-in -Chief		ZHAO Jin-cai
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	中国国际图书贸易集团有限公司 (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: 120.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行