

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第7期

Vol.34 No.7

2013

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

唐山市大气颗粒物 OC/EC 浓度谱分布观测研究	郭育红, 辛金元, 王跃思, 温天雪, 李杏茹, 封孝信 (2497)
北京东灵山地区主要大气污染物浓度变化特征	于阳春, 胡波, 王跃思 (2505)
奥运前期与奥运期间北京市大气细颗粒物特征比较分析	张菊, 欧阳志云, 苗鸿, 王效科, 任玉芬, 宋文质 (2512)
华东森林及高山背景区域臭氧变化特征及影响因素	苏彬彬 (2519)
北京市居家空气微生物粒径及分布特征研究	方治国, 孙平, 欧阳志云, 刘芄, 孙力, 王小勇 (2526)
民用燃煤源中多环芳烃排放因子实测及其影响因素研究	海婷婷, 陈颖军, 王艳, 田崇国, 林田 (2533)
醇类汽油车醇醛酮、芳香烃和烯烃类排放的试验研究	张凡, 王建海, 王小臣, 王建昕 (2539)
微波解吸-催化燃烧净化甲苯研究	曹晓强, 张浩, 黄学敏 (2546)
生物滴滤池对 BTEX 的去除及相应细菌群落分析	李建军, 廖东奇, 许玫英, 孙国萍 (2552)
炼油厂废水处理站挥发性羰基化合物成分谱研究	周博宇, 刘旺, 王伯光, 周咪, 黄青, 周磊 (2560)
春季东、黄海溶解甲烷的分布和海气交换通量	曹兴朋, 张桂玲, 马啸, 张国玲, 刘素美 (2565)
千岛湖湖泊区水体季节性分层特征研究	董春颖, 虞左明, 吴志旭, 吴春金 (2574)
新安江流域土地利用结构对水质的影响	曹芳芳, 李雪, 王东, 赵越, 王玉秋 (2582)
长江中下游草型湖泊浮游植物群落及其与环境因子的典范对应分析	孟睿, 何连生, 过龙根, 席北斗, 李中强, 舒俭民, 刁晓君, 李必才 (2588)
河口盐度梯度下溶解态核酸的微生物可利用性	杨青青, 李朋辉, 黄清辉 (2597)
水藻暴发的影响因素定量化研究初步	张卓, 宋志尧, 黄昌春, 俞肇元 (2603)
深水型水库藻类功能组时空演替及生境变化的影响	卢金锁, 胡亚潘 (2611)
结合水体光学分类反演太湖总悬浮物浓度	周晓宇, 孙德勇, 李云梅, 李俊生, 龚绍琦 (2618)
Subwet 模型在人工湿地设计中的应用	李慧峰, 黄津辉, 林超 (2628)
白洋淀荷茎叶提取液对铜绿微囊藻及四尾栅藻化感效应	何连生, 孟繁丽, 刁晓君, 李一葳, 孟睿, 席北斗, 舒俭民 (2637)
苦草 (<i>Vallisneria spiralis</i>) 对城市缓流河道黑臭底泥理化性质的影响	许宽, 刘波, 王国祥, 马久远, 曹勋, 周峰 (2642)
铁屑-微生物协同还原去除水体中 Cr(VI) 研究	汤洁, 王卓行, 徐新华 (2650)
铁铜催化剂非均相 Fenton 降解苯酚及机制研究	杨岳主, 李玉平, 杨道武, 段锋, 曹宏斌 (2658)
不同形态无机氮对水中微量药物安替比林光降解效能影响	赵倩, 陈超, 封莉, 张立秋 (2665)
邻苯二甲酸二甲酯的紫外光-H ₂ O ₂ 降解机制研究	刘青, 陈成, 陈泓哲, 杨绍贵, 何欢, 孙成 (2670)
二胺基改性有序多孔 SBA-15 对溶液中 Cd ²⁺ 离子的吸附研究	张萌, 杨亚提, 秦睿, 王力, 张增强, 李忠宏, 李荣华, 孟昭福 (2677)
酸化蛭石的表面有机修饰及其对疏水性微污染物的吸附	蒋争明, 于旭彪, 胡芸, 任源, 李雪辉, 韦朝海 (2686)
基于废陶瓷的多孔陶瓷研制及其对 Ni ²⁺ 的吸附性能	张永利, 王承智, 史册, 尚玲玲, 马瑞, 董婉莉 (2694)
树皮支持的厌氧生物法去除地下水中的高氯酸盐	王蕊, 刘菲, 陈楠, 陈鸿汉 (2704)
Cr(VI) 污染地下水修复的 PRB 填料实验研究	朱文会, 董良飞, 王兴润, 翟亚丽 (2711)
化学沉淀法去除稀土湿法冶炼废水中钙与高浓度氨氮研究	王浩, 成官文, 宋晓薇, 徐子涵, 蒙金结, 董传强 (2718)
镍铁尾矿硫酸浸出动力学研究	陈安安, 周少奇, 黄鹏飞 (2729)
HRT 对 A ² O 工艺中典型多环麝香迁移转化的影响	刘鹏程, 黄满红, 陈东辉, 陈亮 (2735)
发酵液作为 EBPR 碳源的动力学模拟	张超, 陈银广 (2741)
强化污泥利用水解反应器改善碳源与污泥减量作用研究	熊娅, 王强, 宋英豪, 朱民, 林秀军 (2748)
污泥胞外聚合物的提取方法及其对污泥脱水性能的影响	周俊, 周立祥, 黄焕忠 (2752)
不同粒径铁铝泥对砷(Ⅲ)的吸附效果	林璐, 胥嘉瑞, 吴昊, 王昌辉, 裴元生 (2758)
我国畜禽粪便污染的区域差异与发展趋势分析	仇焕广, 廖绍攀, 井月, 栾江 (2766)
浙北平原富硒土壤资源区硒来源的定量分离	徐明星, 潘卫丰, 岑静, 马学文 (2775)
三江平原土地利用方式变化对土壤锰形态影响	张仲胜, 吕宪国, 宋晓林 (2782)
吉林前郭水田土壤有机碳垂直分布规律和储量研究	汤洁, 张雯辉, 李昭阳, 张楠, 胡猛 (2788)
关中地区农田土壤有机碳固存速率及影响因素: 以陕西武功县为例	张晓伟, 许明祥 (2793)
三峡库区不同林草措施土壤活性有机碳及抗蚀性研究	黄茹, 黄林, 何丙辉, 周立江, 于传, 王峰 (2800)
土壤自养微生物同化碳向土壤有机碳库输入的定量研究: ¹⁴ C 连续标记法	史然, 陈晓娟, 吴小红, 简燕, 袁红朝, 葛体达, 隋方功, 童成立, 吴金水 (2809)
西南丘陵区保护性耕作下小麦农田土壤呼吸及影响因素分析	张赛, 张晓雨, 王龙昌, 罗海秀, 周航飞, 马仲炼, 张翠微 (2815)
丹江口水库迁建区土壤有机氯农药的分布特征及风险评价	李子成, 秦延文, 郑丙辉, 张雷, 赵艳民, 时瑶 (2821)
农药企业场地苯系物污染风险及调控对策	庞博, 王铁宇, 杜立宇, 谭冰, 朱朝云, 吕永龙 (2829)
水分管理对硫铁镉在水稻根区变化规律及其在水稻中积累的影响	张雪霞, 张晓霞, 郑煜基, 王荣萍, 陈能场, 卢普相 (2837)
硝酸盐对沉积物中有机物氧化减量及微生物群落结构的影响	刘近, 邓代永, 孙国萍, 刘永定, 许玫英 (2847)
零价铁对脱色希瓦氏菌 S12 偶氮还原的促进作用	周庆, 陈杏娟, 郭俊, 孙国萍, 许玫英 (2855)
2 株好氧反硝化菌的筛选及其强化贫营养生物膜脱氮效果	全向春, 岑艳, 钱殷 (2862)
反硝化聚磷菌快速富集、培养及其荧光原位杂交技术鉴别	刘立, 汤兵, 黄绍松, 付丰连, 张启泰, 黎健彬, 罗建中 (2869)
1 株反硝化除磷菌的鉴定及其反硝化功能基因研究	张倩, 王弘宇, 桑穗姣, 李孟, 杨开, 马放 (2876)
1 株高效 BBP 降解菌的分离与特性研究	陈湖星, 杨雪, 张凯, 钟秋, 郭佳, 王攀, 熊丽, 刘德立 (2882)
微生物-化学水解联合作用下烟嘧磺隆的降解	张小林, 李咏梅, 袁志文 (2889)
扑草净降解菌的分离、筛选与鉴定及降解特性初步研究	周际海, 孙向武, 胡锋, 李辉信 (2894)
固定化 <i>Lysinibacillus cresolovorans</i> 的 PVA-SA-PHB-AC 复合载体制备及间甲酚的降解	李婷, 任源, 韦朝海 (2899)
生物破乳菌 <i>Alcaligenes</i> sp. S-XJ-1 表面活性物质提取与其破乳特性分析	黄翔峰, 张树聪, 彭开彰, 陆丽君, 刘佳 (2906)
A ² O 工艺活性污泥中可培养丝状细菌的多样性	高莎, 金德才, 赵志瑞, 齐嵘, 彭霞薇, 白志辉 (2912)
生活垃圾堆肥渗滤液污染物组成与演化规律研究	李丹, 何小松, 席北斗, 魏自民, 潘红卫, 赵国鹏, 崔东宇 (2918)
专辑征稿通知 (2551) 《环境科学》征稿简则 (2685) 《环境科学》征订启事 (2868) 信息 (2875)	

HRT对A²O工艺中典型多环麝香迁移转化的影响

刘鹏程¹, 黄满红^{1*}, 陈东辉², 陈亮¹

(1. 东华大学环境科学与工程学院, 上海 201620; 2. 上海应用技术学院化学与环境工程学院, 上海 200235)

摘要: 研究了不同水力停留时间(hydraulic retention time, HRT)条件下佳乐麝香(galaxolide, HHCB)与吐纳麝香(tonalide, AHTN)在A²O工艺各池水相和泥相中的变化情况. 采用固相萃取与气相质谱联用的方法对水相与泥相中目标物的质量浓度进行检测. 结果表明, HRT主要影响HHCB在A²O工艺中的生物降解和随剩余污泥排放的比重, 影响AHTN随剩余污泥排放的比重. 随着HRT的增大, HHCB、AHTN在厌氧池中的去除率与去除贡献率逐渐减小, 而缺氧池与好氧池的去除率与去除贡献率相对增大. 2种目标物在4个HRT工况(6、8、10、12 h)下的总去除率分别为73.93%、73.05%、75.14%、76.00%和48.76%、44.27%、57.17%、62.9%. A²O工艺对HHCB的去除效果较好, 而对AHTN的去除效果较差. HRT的增大对HHCB的去除影响不大, 而对AHTN的去除有促进作用.

关键词: HRT; 多环麝香; A²O工艺; 迁移转化; 去除效果

中图分类号: X787 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)07-2735-06

Effects of HRT on Fate of Typical Polycyclic Musk by A²O Process

LIU Peng-cheng¹, HUANG Man-hong¹, CHEN Dong-hui², CHEN Liang¹

(1. College of Environmental Science and Engineering, Donghua University, Shanghai 201620, China; 2. School of Chemical and Environmental Engineering, Shanghai Institute of Technology, Shanghai 200235, China)

Abstract: Fate of galaxolide (HHCB) and tonalide (AHTN) during the A²O process was investigated under different hydraulic retention time (HRT). Solid phase extraction (SPE) and gas chromatography mass spectrometry (GC/MS) were applied to determine the concentrations of the targets in the aqueous phase and sewage sludge. The results showed that HRT has an influence on the proportions of biodegradation and the discharge of excess sludge for HHCB by the A²O process, and it also affected the discharge of excess sludge for AHTN. With the extension of HRT, removal rates and removal contribution rates of HHCB and AHTN decreased in the anaerobic tank, while increased in the anoxic tank and aerobic tank. The final removal rates of the targets in the four operating conditions (6 h, 8 h, 10 h and 12 h) were 73.93%, 73.05%, 75.14%, 76% and 48.76%, 44.27%, 57.17%, 62.9%, respectively. The removal efficiency was good for HHCB, but the removal efficiency of AHTN was poor by the A²O process. Meanwhile, with the extension of HRT, the removal efficiency showed no significant effect on HHCB, but it promoted the removal efficiency of AHTN.

Key words: hydraulic retention time (HRT); polycyclic musk; A²O process; fate; removal efficiency

药品和个人护理用品(pharmaceutical and personal care products, PPCPs)与人类的生活密切相关,这类物质包括各种处方药和非处方药(如抗生素、类固醇、止痛药、避孕药、降压药等)、肥皂、香波、香水、护肤品、牙膏、染发剂等,是近10年来引起广泛关注的新型有机微量污染物^[1]. 多环麝香是天然麝香的最常用替代物,具有优雅的芳香气味、优良的定香能力及低廉的价格等特点,因而在日用化工行业中广泛使用^[2].

对污水处理过程中典型多环麝香的研究主要集中于不同地区、不同处理方式的污水处理厂中进水、出水及各反应池的污泥、颗粒相中多环麝香的浓度考察^[3~10]. 尽管其总去除率达到40%~90%^[1, 6, 11, 12],但仍会通过污泥吸附排入到自然环境^[10, 13, 14],使得多环麝香在城市污水处理后并没有

减小对环境的危害. 目前,生产和使用最多的是多环麝香中的HHCB和AHTN,约占多环麝香市场份额的95%^[15]. 本研究选择HHCB和AHTN作为目标分析物,它们具有较强的亲脂、憎水性,在自然环境中难降解,有很强的生物富集作用,并呈现一定的雌激素活性^[16~20]. 目前,对目标物在A²O工艺中的迁移转化多集中于实际污水处理厂中进行,且HRT对目标物迁移转化的影响研究较少. 本研究对4种HRT(6、8、10、12h)工况下的HHCB和AHTN

收稿日期: 2012-10-23; 修订日期: 2013-01-09

基金项目: 国家自然科学基金项目(21007010); 教育部高等学校博士学科点专项科研基金项目(20090075120007); 上海科委项目(09230500200); 湖南省科技厅科研项目(200908, 201105); 交通运输部科技项目(2010353343290)

作者简介: 刘鹏程(1987~),男,硕士研究生,主要研究方向为水污染控制与资源化, E-mail: tolpelove@126.com

* 通讯联系人, E-mail: egghmh@163.com

在A²O生物处理部分中的生物降解、挥发性及去除率等情况进行比较分析,旨在为实际污水处理过程中多环麝香的去除提供技术参数.

1 材料与方法

1.1 仪器与试剂

GC-MS 7890-5975A 型气相色谱-质谱联用仪(美国 Agilent); EASYTAK 型 12 管 SPE 固相萃取装置(上海泉岛公司); QSC-12T 型可调氮吹仪(上海泉岛公司); DKY-11 型恒温调速回转式摇床(上海杜科公司); Multifuge IS-R 离心机(美国 Thermo 公司); LL3300 型冷冻干燥机(Thermo Scientific 公司); NX40/58-600 型超声清洗仪(上海釜川超声波公司).

佳乐麝香(CAS no. 1222-05-5, Dr. Ehrenstorfer), 吐纳麝香(CAS no. 1506-02-1, Dr. Ehrenstorfer), 内标物六甲基苯(CAS no. 87-85-4, Dr. Ehrenstorfer); 正己烷为色谱纯(CNW), 二氯甲烷、丙酮、甲醇等为 AR 级(国药集团化学试剂有限公司); 实验室用水为超纯水.

1.2 实验方法

1.2.1 样品前处理

(1) 水样固相萃取处理

水样用 0.45 μm 的微孔滤膜过滤, C18 固相萃取柱预先依次用流速控制在 1 $\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$ 左右的 10 mL 甲醇与 10 mL 超纯水活化. 然后使需处理水样保持 5 ~ 10 $\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$ 的流速连续通过萃取柱. 将萃取柱用氮气吹干, 用 10 mL 正己烷以 0.5 ~ 2 $\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$ 洗脱萃取柱, 将洗脱液用 N_2 在 40℃ 水浴下氮吹, 加入内标六甲基苯至 1 mL 待测.

(2) 泥样固相萃取处理

取冷冻干燥污泥 0.2 g 置于萃取罐, 加入 15 mL 二氯甲烷-丙酮(体积比为 1:1) 混合溶剂进行微波萃取, 萃取功率 800 W, 萃取温度 5 min 内加热到 120℃, 保持 20 min. 离心分离上清液后氮吹浓缩. 加入 0.5 mL 丙酮后用 0.45 μm 滤膜针筒过滤器过

滤. 将滤液放入 100 mL 容量瓶中, 用超纯水稀释至刻度, 摇匀后超声 1 h. 然后按(1)进行固相萃取操作.

1.2.2 测定方法

多环麝香浓度多采用 GC-MS 方法进行测定^[21]. 以六甲基苯为内标物采用内标法定量.

(1) GC 条件

HP-5 熔融石英毛细管柱(30 m $\times$ 0.25 mm $\times$ 0.25 μm). 进样口温度 280℃, 不分流进样, 进样量为 1 mL, 载气为高纯氮, 载气流速为 1 $\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$. 升温程序: 80℃ 保持 1 min, 以 20℃ $\cdot$ min⁻¹ 升温至 160℃, 再以 5℃ $\cdot$ min⁻¹ 升温至 260℃, 最后以 10℃ $\cdot$ min⁻¹ 升温至 280℃ 保持 5 min.

(2) MS 条件

采用选择离子检测模式(SIM), EI 轰击源, 电子能量为 70 eV; 离子源温度为 230℃; 接口温度为 280℃. HHCB 的保留时间为 13.051 min, 定性离子 213.1、258.1, 定量离子 243.1; AHTN 的保留时间为 13.235 min, 定性离子 201.1、258.1, 定量离子 243.1; 内标六甲基苯的保留时间为 7.520 min, 定性离子 147.1, 定量离子 162.1.

1.3 实验装置

A²O 工艺厌氧池、缺氧池和好氧池的有效尺寸分别为: 21 cm $\times$ 14 cm $\times$ 15 cm, 21 cm $\times$ 14 cm $\times$ 15 cm 和 60 cm $\times$ 14 cm $\times$ 15 cm, 三池均设有机械搅拌器. 进水为实验室配水, 其中 COD = (430 $\pm$ 10) $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, TN = (30 $\pm$ 5) $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, TP = (3.1 $\pm$ 0.5) $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$. 剩余污泥从好氧池排放, 内、外回流比均为 100%, SRT 为 10 d, 好氧池采用鼓风砂条曝气, DO 控制在 3 ~ 4 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$.

2 结果与分析

2.1 常规指标

各 HRT 条件下, 进出水平均 COD、TN、TP 以及据 1.3 节进水计算的平均去除率如表 1.

MLSS 作为评价目标物迁移转化的重要指标, 影响系统对目标物的吸附量, 其值见表 2.

表 1 出水 COD、TN、TP 及其去除率

Table 1 Average values and removal rates of COD, TN and TP in effluents

HRT/h	COD		TN		TP	
	浓度/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	去除率/%	浓度/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	去除率/%	浓度/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	去除率/%
6	47	89.1	3.53	89.9	0.46	85.8
8	34	92.3	2.99	89.4	0.18	94.2
10	53	87.7	2.89	91.7	0.23	92.8
12	47	89.2	2.22	92.2	0.13	95.7

表 2 各反应器污泥浓度值				
Table 2 Values of MLSS in the three reactors				
HRT/h	MLSS/mg·L ⁻¹			
	厌氧池	缺氧池	好氧池	平均值
6	4 204	4 220	4 506	4 310
8	3 302	3 348	3 192	3 281
10	3 184	3 170	4 546	3 633
12	2 650	3 034	3 772	3 152

根据《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918-2002)^[22]可知,COD、TN 在各工况下均达到

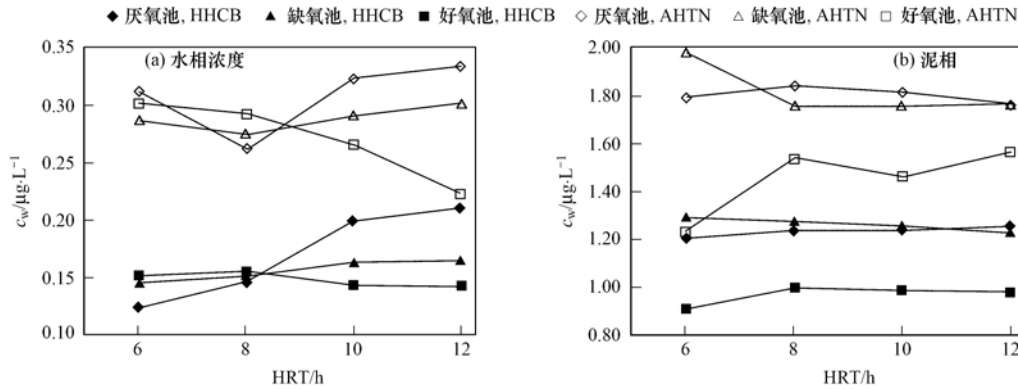


图 1 各反应器中目标物水相和泥相浓度变化

Fig. 1 Change in concentrations of the targets in the aqueous phase and sewage sludge

池与缺氧池中 HHCB 水相浓度逐渐增大;缺氧池中 HHCB 水相浓度在 6 h 和 8 h 时增大,而在 10 h 和 12 h 时减少;在好氧池中整体变化不大.沿工艺流程发现,在 HRT 为 6 h、8 h 时各反应池 HHCB 水相浓度逐渐增加,而在 10 h、12 h 时逐渐减少,这说明 HRT 较小时,目标物在工艺中停留时间较短,进水总量较大,导致目标物未被充分吸附并降解. AHTN 水相浓度的变化趋势与 HHCB 基本相同,但是在 8 h 时 AHTN 水相浓度比 6 h 时低,这与活性污泥对 AHTN 的吸附能力更强有关^[23],对 A²O 工艺中的各池活性污泥对目标物的 k_d 值进行了检测(表 3)^[5]. k_d 值越大,活性污泥对目标物的吸附能力越强.

表 3 各单元内目标物的 k_d 值			
Table 3 The k_d of the targets in the reactors			
目标物	$k_d/\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$		
	厌氧池	缺氧池	好氧池
HHCB	5.73	3.13	3.96
AHTN	11.45	9.27	8.08

2.2.2 泥相质量浓度变化

已有研究对中国、欧洲和美国的多处实际污水处理厂的多环麝香在泥相中的质量浓度进行了测定^[5, 11, 14, 24],并结合 k_d 与 K_{ow} 的值进行了分析^[25].

从图 1(b)可以发现,HHCB 泥相浓度在 6 ~ 10

一级 A 标准,TP 在 6 h 时达到一级 B 标准,在大于 6 h 工况下达到一级 A 标准.

2.2 目标物各相质量浓度变化

2.2.1 水相质量浓度变化

进水中 HHCB、AHTN 质量浓度分别为 $(0.71 \pm 0.01) \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $(0.84 \pm 0.04) \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$. 分别检测了厌氧池、缺氧池、好氧池中水相与泥相中的目标物质量浓度变化情况,如图 1.

从图 1(a)中可以发现,随着 HRT 的增加厌氧

h 缺氧池比厌氧池有少量增加,12 h 时减小,而 AHTN 泥相浓度在 6 h 缺氧池比厌氧池大,在 8 ~ 12 h 时缺氧池比厌氧池有所减小,这与 AHTN 的 k_d 值比 HHCB 大有关,在更短时间内即可达到吸附平衡.同时,在好氧池中目标物泥相浓度较之厌氧池与缺氧池有明显减少,由于好氧池曝气产生的水力剪切作用,使得好氧池活性污泥絮体较小,增大了比表面积,使得活性污泥吸附能力上升,但好氧池中目标物泥相浓度明显减少.根据 Artola-Garicano 等^[26]对 HHCB 与 AHTN 建立的两相生物降解模型的研究可知,污水中有机物的吸附过程与生物降解速率主要受两个因素限制:①目标物的生物降解活性作为受限因素时,活性污泥对目标物的吸附过程较快,目标物未降解就已达到吸附平衡;②目标物从有机相到水相的解吸速率作为受限因素.由此可见,本研究中 HHCB 与 AHTN 的生物降解主要是由有机相与水相之间的解吸速率所决定.

2.3 目标物的迁移转化

在污水处理过程中,目标物的迁移转化主要涉及挥发、出水排放、随剩余污泥排放、生物降解等途径.本实验对 4 种途径进行了分析(表 4).其中,目标物的挥发量采用 TOXCHEM v1.0 软件的挥发模型进行模拟计算.

通过表4可以发现, HRT对HHCB迁移转化过程影响主要是污泥排放与生物降解,而对于出水排放、挥发影响不大. 在HRT为10 h、12 h时,剩余污泥量明显增大,导致HHCB随剩余污泥排放所占比重相对增加. 而对于AHTN而言,HRT增加时,由于污泥对AHTN的吸附能力更强,导致随污泥排放所占比重增加,影响到出水排放. 总体来看,HHCB在本实验中的生物降解所占比重比AHTN大,这与HHCB生物降解速率常数比AHTN大有关^[26]. Suarez等^[27]对PPCPs生物降解性的分类显示:当生物降解速率 $k_{\text{bio}} > 5 \text{ L} \cdot (\text{g} \cdot \text{d})^{-1}$ 为极易降解、 $1 < k_{\text{bio}} < 5 \text{ L} \cdot (\text{g} \cdot \text{d})^{-1}$ 为易降解、 $0.5 < k_{\text{bio}} < 1 \text{ L} \cdot (\text{g} \cdot \text{d})^{-1}$ 为中度降解、 $k_{\text{bio}} < 0.5 \text{ L} \cdot (\text{g} \cdot \text{d})^{-1}$ 为难降解,

HHCB、AHTN在好氧与厌氧条件下的生物降解速率分别为 $170、150 \text{ L} \cdot (\text{g} \cdot \text{d})^{-1}$ 与 $115、60 \text{ L} \cdot (\text{g} \cdot \text{d})^{-1}$. 由此可见,其均属极易生物降解的PPCPs物质,同时,HHCB、AHTN在独立好氧条件下活性污泥处理过程中生物降解比重分别为79%~99%与76%~98%;在独立厌氧条件下生物降解比重分别为67%~84%与65%~76%. 在本实验条件下,HHCB与AHTN的生物降解比重为62%~67%与49%~54%,其比重依然较大,相比于Suarez等^[27]的研究差异在于其污泥龄比本实验污泥龄长,同时A²O工艺相对于单纯好氧与厌氧条件更为复杂. AHTN的出水排放量百分比较之HHCB小,显示AHTN在A²O工艺中的去除效果比HHCB差.

表4 目标物的迁移转化途径

Table 4 Distribution of the targets by the A²O process

目标物	HRT /h	出水		污泥外排		挥发		生物降解	
		日总量 / $\mu\text{g} \cdot \text{d}^{-1}$	百分比 /%	日总量 / $\mu\text{g} \cdot \text{d}^{-1}$	百分比 /%	日总量 / $\mu\text{g} \cdot \text{d}^{-1}$	百分比 /%	日总量 / $\mu\text{g} \cdot \text{d}^{-1}$	百分比 /%
HHCB	6	12.38	20.07	6.22	10.08	0.0017	0.0028	43.09	69.85
	8	9.72	21.08	4.01	8.69	0.0017	0.0037	32.37	70.23
	10	8.01	21.64	6.06	16.36	0.0022	0.0059	22.95	62.00
	12	5.91	19.22	4.24	13.80	0.0022	0.0072	20.58	66.97
AHTN	6	25.34	33.73	9.85	13.11	0.0035	0.0047	39.93	53.15
	8	18.19	35.43	6.23	12.13	0.0034	0.0066	26.91	52.43
	10	13.94	30.93	9.03	20.04	0.0041	0.0090	22.10	49.02
	12	9.19	26.87	6.76	19.74	0.0036	0.0106	18.27	53.38

2.4 反应器去除率(θ)、去除贡献率(η)及总去除率
目标物在反应器中的去除率(θ)、去除贡献率(η)及总去除率采用式(1)~(10)计算.

$$c_{\text{in}1,\text{i}} = \frac{c_{\text{in},\text{i}} + R \times c_{\text{R},\text{i}}}{1 + R} \quad (1)$$

$$c_{\text{in}2,\text{i}} = \frac{(1 + R) \times c_{1,\text{i}} + r \times c_{3,\text{i}}}{1 + R + r} \quad (2)$$

$$c_{\text{in}3,\text{i}} = c_{2,\text{i}} \quad (3)$$

$$\text{厌氧池去除率}(\%) = \frac{c_{\text{in}1,\text{i}} - c_{1,\text{i}}}{c_{\text{in}1,\text{i}}} \quad (4)$$

$$\text{缺氧池去除率}(\%) = \frac{c_{\text{in}2,\text{i}} - c_{2,\text{i}}}{c_{\text{in}2,\text{i}}} \quad (5)$$

$$\text{好氧池去除率}(\%) = \frac{c_{\text{in}3,\text{i}} - c_{3,\text{i}}}{c_{\text{in}3,\text{i}}} \quad (6)$$

$$\text{厌氧池去除贡献率}(\%) = \frac{(1 + R) \times Q \times (c_{\text{in}1,\text{i}} - c_{1,\text{i}})}{(c_{\text{in},\text{i}} - c_{\text{e},\text{i}}) \times Q + (c_{\text{e},\text{i}} - c_{3,\text{i}}) \times Q_{\text{w}}} \quad (7)$$

$$\text{缺氧池去除贡献率}(\%) = \frac{(1 + R + r) \times Q \times (c_{\text{in}2,\text{i}} - c_{2,\text{i}})}{(c_{\text{in},\text{i}} - c_{\text{e},\text{i}}) \times Q + (c_{\text{e},\text{i}} - c_{3,\text{i}}) \times Q_{\text{w}}} \quad (8)$$

$$\text{好氧池去除贡献率}(\%) = \frac{(1 + R + r) \times Q \times (c_{\text{in}3,\text{i}} - c_{3,\text{i}})}{(c_{\text{in},\text{i}} - c_{\text{e},\text{i}}) \times Q + (c_{\text{e},\text{i}} - c_{3,\text{i}}) \times Q_{\text{w}}} \quad (9)$$

$$\text{总去除率}(\%) = \frac{c_{\text{in},\text{i}} \times Q - (Q - Q_{\text{w}}) \times c_{\text{e},\text{i}} - Q_{\text{w}} \times c_{3,\text{i}}}{(c_{\text{in},\text{i}} - c_{\text{e},\text{i}}) \times Q + (c_{\text{e},\text{i}} - c_{3,\text{i}}) \times Q_{\text{w}}} \quad (10)$$

式中, c 为水相中的质量浓度($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$); Q 为流量($\text{L} \cdot \text{d}^{-1}$); R 为外回流比(%); r 为内回流比(%);下标in为进水,e为出水,w为剩余污泥, R 为外回流, r 为内回流,1为厌氧池,2为缺氧池,3为好氧池, i 取值分别代表HHCB与AHTN.

根据图2对厌氧池、缺氧池、好氧池、二沉池的去除率与去除贡献率的计算可以发现,HHCB去除率和去除贡献率随着HRT的增加,在厌氧池中逐渐减小,而在缺氧池与好氧池中逐渐增大,同时HRT为6 h、8 h时,缺氧池与好氧池为负去除率和负去除贡献率. 这也是与HRT较小时,目标物在工艺中停留时间较短,目标物进水总量较大,导致目标物在缺氧池与好氧池中未被吸附或降解就直接排放造成的. 对于AHTN,去除率和去除贡献率随HRT

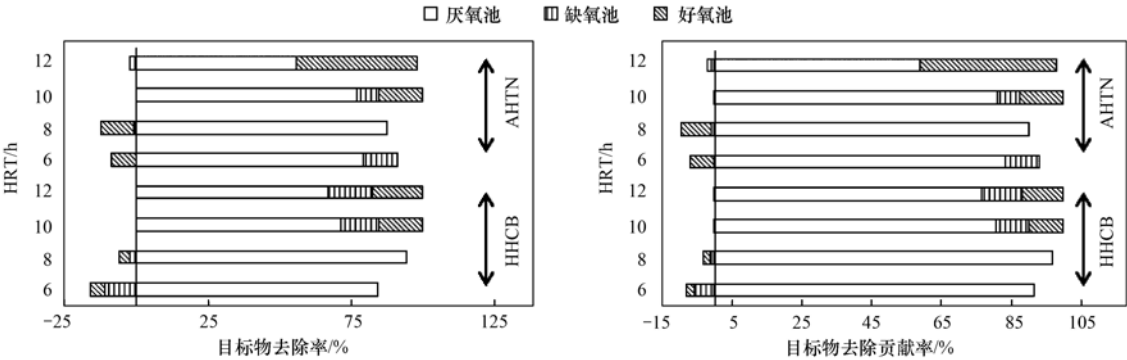


图2 目标物在各反应器去除率及去除贡献率

Fig. 2 Removal rate and removal contribution rate of the targets in the reactors

的增加,在厌氧池、缺氧池中总体减小,而在好氧池中总体增大。

HHCB、AHTN 在 4 个不同停留时间下的总去除率分别为 73.93%、73.05%、75.14%、76.00% 和 48.76%、44.27%、57.17%、62.90% (表 5)。由此可知,A²O 工艺对 HHCB 的去除效果较好,而对 AHTN 的去除效果较差。同时,HRT 的增大对 HHCB 的去除无明显变化,而对 AHTN 的去除有促进作用。其中,8 h 时目标物的总去除率较之 6 h 时小,这可能是 8 h 时 A²O 系统中污泥浓度比 6 h 时低造成的(表 2)。

表 5 A²O 系统中目标物总去除率计算表

Table 5 Calculation of the total removal rate for the targets during the A ² O process							
目标物	HRT/h	目标物水相浓度/ $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$			系统流量/ $\text{L}\cdot\text{d}^{-1}$		目标物总去除率/%
		$c_{\text{in},i}$	c_e	$c_{3,i}$	Q	Q_w	
HHCB	6	0.72	0.14	0.15	85.68	1.26	73.93
	8	0.72	0.15	0.16	64.26	1.26	73.05
	10	0.72	0.16	0.14	51.41	1.26	75.15
	12	0.72	0.14	0.14	42.84	1.26	76.00
AHTN	6	0.88	0.30	0.30	85.68	1.26	48.76
	8	0.80	0.28	0.29	64.26	1.26	44.27
	10	0.88	0.27	0.27	51.41	1.26	57.17
	12	0.80	0.21	0.22	42.84	1.26	62.90

3 结论

- (1)HRT 对 HHCB 迁移转化的影响主要体现在生物降解与剩余污泥排放;对 AHTN 的影响主要体现在随剩余污泥排放环节,这可能与 AHTN 对污泥的吸附能力更强有关。
- (2)HHCB 与 AHTN 在A²O工艺中的主要去除途径均为生物降解,其中 HHCB 的生物降解比重更大。
- (3)随着 HRT 的增大,HHCB、AHTN 在厌氧池中的去除率与去除贡献率逐渐减小,而缺氧池与好氧池的去除率与去除贡献率增大。
- (4)A²O工艺对 HHCB 的去除好于对 AHTN 的去除。同时,HRT 的增大对 HHCB 的去除影响不大,而对 AHTN 的去除有促进作用。

参考文献:

[1] 李贵梅. 城市污水厂痕量多环麝香的检测和迁移转化研究

[D]. 上海: 东华大学, 2011.

[2] 桑文静,周雪飞,张亚雷. 城市污水厂污泥中合成麝香分析方法的研究进展[J]. 中国给水排水, 2009, **25**(8): 16-21.

[3] Schwartz S, Berding V, Matthies M. Aquatic fate assessment of the polycyclic musk fragrance HHCB: Scenario and variability analysis in accordance with the EU risk assessment guidelines [J]. Chemosphere, 2000, **41**(5): 671-679.

[4] Martin C, Moeder M, Daniel X, *et al.* Biotransformation of the polycyclic musks HHCB and AHTN and metabolite formation by fungi occurring in freshwater environments[J]. Environmental Science and Technology, 2007, **41**(15): 5395-5402.

[5] Lu Y, Yuan T, Wang W H, *et al.* Concentrations and assessment of exposure to siloxanes and synthetic musks in personal care products from China[J]. Environmental Pollution, 2011, **159**(12): 3522-3528.

[6] Berset J D, Kupper T, Etter R, *et al.* Considerations about the enantioselective transformation of polycyclic musks in wastewater, treated wastewater and sewage sludge and analysis of their fate in a sequencing batch reactor plant[J]. Chemosphere, 2004, **57**

- (8): 987-996.
- [7] Rimkus G G, Butte W, Geyer H J. Critical considerations on the analysis and bioaccumulation of musk xylene and other synthetic nitro musks in fish [J]. *Chemosphere*, 1997, **35** (7): 1497-1507.
- [8] Melymuk L, Robson M, Helm P A, *et al.* Evaluation of passive air sampler calibrations: Selection of sampling rates and implications for the measurement of persistent organic pollutants in air [J]. *Atmospheric Environment*, 2011, **45** (10): 1867-1875.
- [9] Reyes-Contreras C, Matamoros V, Ruiz I, *et al.* Evaluation of PPCPs removal in a combined anaerobic digester-constructed wetland pilot plant treating urban wastewater [J]. *Chemosphere*, 2011, **84** (9): 1200-1207.
- [10] Yang J J, Metcalfe C D. Fate of synthetic musks in a domestic wastewater treatment plant and in an agricultural field amended with biosolids [J]. *Science of the Total Environment*, 2006, **363** (1-3): 149-165.
- [11] 陈多宏, 胡学玲, 盛彦清, 等. 典型污水处理厂中多环麝香的污染特征 [J]. *生态环境学报*, 2009, **18** (1): 101-105.
- [12] 周海东, 黄霞, 高密军. 城市污水中典型多环麝香的分布 [J]. *中国给水排水*, 2011, **27** (1): 75-78, 81.
- [13] Bester K. Retention characteristics and balance assessment for two polycyclic musk fragrances (HHCB and AHTN) in a typical German sewage treatment plant [J]. *Chemosphere*, 2004, **57** (8): 863-870.
- [14] Horii Y, Reiner J L, Loganathan B G, *et al.* Occurrence and fate of polycyclic musks in wastewater treatment plants in Kentucky and Georgia, USA [J]. *Chemosphere*, 2007, **68** (11): 2011-2020.
- [15] Van D P E J, Balk F. Environmental risk assessment of the polycyclic musks AHTN and HHCB according to the EU-TGD [R]. Bilthoven, The Netherlands: RIVM Report, 1997. 10-65.
- [16] 曾祥英. 污水处理厂多环麝香污染物的分布特征及去除途径的初步研究 [D]. 广州: 中国科学院广州地球化学研究所, 2005.
- [17] 闫朝阳, 蔡清海. 利用 α -甲基苯乙烯合成佳乐麝香的研究 [J]. *化学工程师*, 2002, **88** (1): 13-14.
- [18] 刘宇红, 熊培文, 王振川, 等. 异色满类香料化合物的合成及其进展 [J]. *精细化工*, 1994, **11** (6): 24-27.
- [19] Slanina P. Risk evaluation of dietary and dermal exposure to musk fragrances [M]. Berlin: Springer, 2004. 281-310.
- [20] 汪多仁. 合成吐纳麝香 [J]. *化学世界*, 1996, (12): 644-647.
- [21] 韩潇. 污水中痕量多环麝香检测技术研究及应用 [D]. 上海: 东华大学, 2012.
- [22] GB 18918-2002. 城镇污水处理厂污染物排放标准 [S].
- [23] 薛文超. 厌氧/缺氧/好氧-膜生物反应器对微量污染物的去除特性 [D]. 北京: 清华大学, 2010.
- [24] Reiner J L, Berset J D, Kannan K. Mass flow of polycyclic musks in two wastewater treatment plants [J]. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 2007, **52** (4): 451-457.
- [25] Ternes T A, Herrmann N, Bonerz M, *et al.* A rapid method to measure the solid-water distribution coefficient (K_d) for pharmaceuticals and musk fragrances in sewage sludge [J]. *Water Research*, 2004, **38** (19): 4075-4084.
- [26] Artola-Garicano E, Borkent I, Damen K, *et al.* Sorption kinetics and microbial biodegradation activity of hydrophobic chemicals in sewage sludge: Model and measurements based on free concentrations [J]. *Environmental Science and Technology*, 2003, **37** (1): 116-122.
- [27] Suarez S, Lema J M, Omil F. Removal of Pharmaceutical and Personal Care Products (PPCPs) under nitrifying and denitrifying conditions [J]. *Water Research*, 2010, **44** (10): 3214-3224.

CONTENTS

Observation of Size Distribution of Atmospheric OC/EC in Tangshan, China	GUO Yu-hong, XIN Jin-yuan, WANG Yue-si, <i>et al.</i> (2497)
Changing Characteristics of the Main Air Pollutants of the Dongling Mountain in Beijing	YU Yang-chun, HU Bo, WANG Yue-si (2505)
Characteristic Comparative Study of Particulate Matters in Beijing Before and During the Olympics	ZHANG Ju, OUYANG Zhi-yun, MIAO Hong, <i>et al.</i> (2512)
Characteristics and Impact Factors of O ₃ Concentrations in Mountain Background Region of East China	SU Bin-bin (2519)
Studies on the Size Distribution of Airborne Microbes at Home in Beijing	FANG Zhi-guo, SUN Ping, OUYANG Zhi-yun, <i>et al.</i> (2526)
Emission Factors of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Residential Coal Combustion and Its Influence Factors	HAI Ting-ting, CHEN Ying-jun, WANG Yan, <i>et al.</i> (2533)
Experimental Research on Alcohols, Aldehydes, Aromatic Hydrocarbons and Olefins Emissions from Alcohols Fuelled Vehicles	ZHANG Fan, WANG Jian-hai, WANG Xiao-cheng, <i>et al.</i> (2539)
Combination Process of Microwave Desorption-Catalytic Combustion for Toluene Treatment	CAO Xiao-qiang, ZHANG Hao, HUANG Xue-min (2546)
Removal of BTEX by a Biotrickling Filter and Analysis of Corresponding Bacterial Communities	LI Jian-jun, LIAO Dong-qi, XU Mei-ying, <i>et al.</i> (2552)
Source Profile of Volatile Carbonyl Compounds in Wastewater Treatment Plant of an Oil Refinery	ZHOU Bo-yu, LIU Wang, WANG Bo-guang, <i>et al.</i> (2560)
Distribution and Air-Sea Fluxes of Methane in the Yellow Sea and the East China Sea in the Spring	CAO Xing-peng, ZHANG Gui-ling, MA Xiao, <i>et al.</i> (2565)
Study on Seasonal Characteristics of Thermal Stratification in Lacustrine Zone of Lake Qiandao	DONG Chun-ying, YU Zuo-ming, WU Zhi-xu, <i>et al.</i> (2574)
Effects of Land Use Structure on Water Quality in Xin'anjiang River	CAO Fang-fang, LI Xue, WANG Dong, <i>et al.</i> (2582)
Canonical Correspondence Analysis Between Phytoplankton Community and Environmental Factors in Macrophtic Lakes of the Middle and Lower Reaches of Yangtze River	MENG Rui, HE Lian-sheng, GUO Long-gen, <i>et al.</i> (2588)
Microbial Bioavailability of Dissolved Nucleic Acids Across the Estuarine Salinity Gradient	YANG Qing-qing, LI Peng-hui, HUANG Qing-hui (2597)
Elementary Quantitative Study on Factors of Phytoplankton Bloom	ZHANG Zhuo, SONG Zhi-yao, HUANG Chang-chun, <i>et al.</i> (2603)
Spatiotemporal Succession of Algae Functional Groups and the Influence of Environment Change in a Deep-water Reservoir	LU Jin-suo, HU Ya-pan (2611)
Hyperspectral Remote Sensing of Total Suspended Matter Concentrations in Lake Taihu Based on Water Optical Classification	ZHOU Xiao-yu, SUN De-yong, LI Yun-mei, <i>et al.</i> (2618)
Application of Subwet Model in the Design of Constructed Wetland	LI Hui-feng, HUANG Jin-hui, LIN Chao (2628)
Allelopathic Effect of <i>Nelumbo nucifera</i> Stem and Leaf Tissue Extract on the Growth of <i>Microcystis aeruginosa</i> and <i>Scenedesmus quadricauda</i>	HE Lian-sheng, MENG Fan-li, DIAO Xiao-jun, <i>et al.</i> (2637)
Influence of <i>Vallisneria spiralis</i> on the Physicochemical Properties of Black-odor Sediment in Urban Sluggish River	XU Kuan, LIU Bo, WANG Guo-xiang, <i>et al.</i> (2642)
Removal of Cr(VI) by Iron Filings with Microorganisms to Recover Iron Reactivity	TANG Jie, WANG Zhuo-xing, XU Xin-hua (2650)
Degradation of Phenol with a Fe/Cu-Catalytic Heterogeneous-Fenton Process	YANG Yue-zhu, LI Yu-ping, YANG Dao-wu, <i>et al.</i> (2658)
Effect of Different Forms of Inorganic Nitrogen on the Photodegradation of Antipyrine in Water	ZHAO Qian, CHEN Chao, FENG Li, <i>et al.</i> (2665)
Degradation Mechanisms of Dimethyl Phthalate in the UV-H ₂ O ₂ System	LIU Qing, CHEN Cheng, CHEN Hong-zhe, <i>et al.</i> (2670)
Adsorption of Cd ²⁺ Ions in Aqueous by Diamine-Modified Ordered Mesoporous SBA-15 Particles	ZHANG Meng, YANG Ya-ti, QIN Rui, <i>et al.</i> (2677)
Surface Organic Modification of Acid Vermiculite and Its Adsorption of Hydrophobic Micro Pollutants in Aqueous Solutions	JIANG Zheng-ming, YU Xu-biao, HU Yun, <i>et al.</i> (2686)
Preparation of Porous Ceramics Based on Waste Ceramics and Its Ni ²⁺ Adsorption Characteristics	ZHANG Yong-li, WANG Cheng-zhi, SHI Ce, <i>et al.</i> (2694)
Perchlorate Removal from Underground Water by Anaerobic Biological Reduction with Bark	WANG Rui, LIU Fei, CHEN Nan, <i>et al.</i> (2704)
Experimental Study on the Remediation of Chromium Contaminated Groundwater with PRB Media	ZHU Wen-hui, DONG Liang-fei, WANG Xing-run, <i>et al.</i> (2711)
Removal of Calcium and High-strength Ammonia Nitrogen from the Wastewater of Rare-earth Elements Hydrometallurgical Process by Chemical Precipitation	WANG Hao, CHENG Guan-wen, SONG Xiao-wei, <i>et al.</i> (2718)
Leaching Kinetics of Josephinite Tailings with Sulfuric Acid	CHEN An-an, ZHOU Shao-qi, HUANG Peng-fei (2729)
Effects of HRT on Fate of Typical Polycyclic Musk by A ² O Process	LIU Peng-cheng, HUANG Man-hong, CHEN Dong-hui, <i>et al.</i> (2735)
Kinetic Simulation of Enhanced Biological Phosphorus Removal with Fermentation Broth as Carbon Source	ZHANG Chao, CHEN Yin-guang (2741)
Effluent Carbon Source Improvement and Sludge Reduction by Hydrolysis Reactor with Enhanced Sludge Utilization	XIONG Ya, WANG Qiang, SONG Ying-hao, <i>et al.</i> (2748)
Optimization of Extracellular Polymeric Substance Extraction Method and Its Role in the Dewaterability of Sludge	ZHOU Jun, ZHOU Li-xiang, WONG Woo-chung (2752)
Effectiveness of Arsenite Adsorption by Ferric and Alum Water Treatment Residuals with Different Grain Sizes	LIN Lu, XU Jia-rui, WU Hao, <i>et al.</i> (2758)
Regional Differences and Development Tendency of Livestock Manure Pollution in China	QIU Huan-guang, LIAO Shao-pan, JING Yue, <i>et al.</i> (2766)
Quantitative Partitioning of Soil Selenium in the Selenium-Rich Area of Northern Zhejiang Plain	XU Ming-xing, PAN Wei-feng, CENG Jing, <i>et al.</i> (2775)
Effects of Land Use on Manganese Distribution and Fractions in Wetland Soil of Sanjiang Plain, Northeast China	ZHANG Zhong-sheng, LU Xian-guo, SONG Xiao-lin (2782)
Research on Vertical Distribution Pattern and Reserve of Organic Carbon in Paddy Field Soil of Qianguo, Jilin	TANG Jie, ZHANG Wen-hui, LI Zhao-yang, <i>et al.</i> (2788)
Soil Organic Carbon Sequestration Rate and Its Influencing Factors in Farmland of Guanzhong Plain; A Case Study in Wugong County, Shanxi Province	ZHANG Xiao-wei, XU Ming-xiang (2793)
Effects of Biological Regulated Measures on Active Organic Carbon and Erosion-Resistance in the Three Gorges Reservoir Region Soil	HUANG Ru, HUANG Lin, HE Bing-hui, <i>et al.</i> (2800)
Quantifying Soil Autotrophic Microbes-Assimilated Carbon Input into Soil Organic Carbon Pools Following Continuous ¹⁴ C Labeling	SHI Ran, CHEN Xiao-juan, WU Xiao-hong, <i>et al.</i> (2809)
Analysis of Soil Respiration and Influence Factors in Wheat Farmland Under Conservation Tillage in Southwest Hilly Region	ZHANG Sai, ZHANG Xiao-yu, WANG Long-chang, <i>et al.</i> (2815)
Distribution Characteristics and Risk Evaluation of Organochlorine Pesticides in Soil from Relocation Areas of the Danjiangkou Reservoir	LI Zi-cheng, QIN Yan-wen, ZHENG Bing-hui, <i>et al.</i> (2821)
Risk Assessment and Countermeasure of BTEX in Pesticide Factory	PANG Bo, WANG Tie-yu, DU Li-yu, <i>et al.</i> (2829)
Accumulation of S, Fe and Cd in Rhizosphere of Rice and Their Uptake in Rice with Different Water Managements	ZHANG Xue-xia, ZHANG Xiao-xia, ZHENG Yu-ji, <i>et al.</i> (2837)
Effects of Nitrate on Organic Removal and Microbial Community Structure in the Sediments	LIU Jin, DENG Dai-yong, SUN Guo-ping, <i>et al.</i> (2847)
Zero-Valent Iron-Enhanced Azoreduction by the <i>Shewanella decolorationis</i> S12	ZHOU Qing, CHEN Xing-juan, GUO Jun, <i>et al.</i> (2855)
Isolation, Identification of Two Aerobic Denitrifiers and Bioaugmentation for Enhancing Denitrification of Biofilm Under Oligotrophic Conditions	QUAN Xiang-chun, CEN Yan, QIAN Yin (2862)
Rapid Enrichment and Cultivation of Denitrifying Phosphate-Removal Bacteria and Its Identification by Fluorescence <i>in situ</i> Hybridization Technology	LIU Li, TANG Bing, HUANG Shao-song, <i>et al.</i> (2869)
Identification of a Denitrifying Polyphosphate-accumulating Organism (DPAO) and Study on Its Denitrifying Functional Genes	ZHANG Qian, WANG Hong-yu, SANG Wen-jiao, <i>et al.</i> (2876)
Isolation and Characterization of a Highly Efficient BBP-degrading Bacterium	CHEN Hu-xing, YANG Xue, ZHANG Kai, <i>et al.</i> (2882)
Degradation of Nicosulfuron by Combination Effects of Microorganisms and Chemical Hydrolysis	ZHANG Xiao-lin, LI Yong-mei, YUAN Zhi-wen (2889)
Isolation, Screening and Identification of Prometryne-Degrading Bacteria and Their Degrading Characteristics	ZHOU Ji-hai, SUN Xiang-wu, HU Feng, <i>et al.</i> (2894)
Preparation of PVA-SA-PHB-AC Composite Carrier and <i>m</i> -Cresol Biodegradation by Immobilized <i>Lysinibacillus cresolivorans</i>	LI Ting, REN Yuan, WEI Chao-hai (2899)
Extraction of Surface Active Substance and Analysis of Demulsifying Characteristics for the Demulsifying Strain <i>Alcaligenes</i> sp. S-XJ-1	HUANG Xiang-feng, ZHANG Shu-cong, PENG Kai-ming, <i>et al.</i> (2906)
Diversity of Culturable Filamentous Bacteria in the Activated Sludge from A ² O Wastewater Treatment Process	GAO Sha, JIN De-cai, ZHAO Zhi-rui, <i>et al.</i> (2912)
Composition and Transformation of Leachates During Municipal Solid Waste Composting	LI Dan, HE Xiao-song, XI Bei-dou, <i>et al.</i> (2918)

《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)

2013年7月15日 34卷 第7期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 7 Jul. 15, 2013

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: 90.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行