

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第11期

Vol.33 No.11

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

京津冀与长三角区域大气 NO₂ 污染特征 王英, 李令军, 刘阳 (3685)

2008~2011年夏季京津冀区域背景大气污染变化分析 杨俊益, 辛金元, 吉东生, 朱彬 (3693)

沧州市大气污染特征观测研究 王永宏, 胡波, 王跃思, 刘伟, 张武 (3705)

华北工业城市降水中金属元素污染特征及来源 李月梅, 潘月鹏, 王跃思, 王英锋, 李杏茹 (3712)

广州市交通主干道空气中苯系物的测量 叶丛雷, 谢品华, 秦敏, 凌六一, 郑尼娜, 刘文彬, 黄祖照 (3718)

基于实时交通信息的道路机动车动态排放清单模拟研究 黄成, 刘娟, 陈长虹, 张健, 刘登国, 朱景瑜, 黄伟明, 巢渊 (3725)

柴油轿车燃用煤基 F-T 合成油的排放特性 胡志远, 程亮, 谭丕强, 楼狄明 (3733)

九龙江口滨海湿地生源要素空间分布特征 余小青, 杨军, 刘乐冕, 田原, 余正, 王昌付 (3739)

南四湖水体氮、磷营养盐时空分布特征及营养状态评价 舒凤月, 刘玉配, 赵颖, 吴艳鹏, 李爱华 (3748)

天目湖流域湿地对氮磷输出影响研究 李兆富, 刘红玉, 李恒鹏 (3753)

北京市新建城区不透水地表径流 N、P 输出形态特征研究 李立青, 吕书丛, 朱仁肖, 刘泽权, 单保庆 (3760)

云阳宗海湖的分布与来源 张玉玺, 向小平, 张英, 陈玺, 刘景涛, 王金翠, 张媛静, 孙继朝 (3768)

南方某城市地表水体中粪源性污染指示微生物的分布特征研究 孙傅, 沙婧, 刘彦华 (3778)

三峡库区大宁河藻细胞昼夜垂直迁移研究 张永生, 郑丙辉, 姜霞, 郑浩, 钟娜, 陈春宵 (3787)

江淮农村生态型排水系统构建及截污作用研究 单保庆, 李楠, 唐文忠 (3797)

人工湿地植物床-沟壕系统水质净化效果 汪仲琼, 张荣斌, 陈庆华, 魏宏斌, 王为东 (3804)

潜流人工湿地演变对废水中有机物、氮及磷去除的影响 魏泽军, 谢建平, 黄玉明 (3812)

人工湿地处理含盐生活污水的特性研究 高峰, 杨朝晖, 李晨, 金卫红, 邓一兵 (3820)

催化湿式氧化法降解水中的 β-萘酚 刘杰, 于超英, 赵培庆, 陈革新 (3826)

ZVI/EDDS/Air 体系降解水中 2,4-二氯酚的研究 孙倩, 周海燕, 曹梦华, 吴琳娜, 王琳玲, 陈静, 陆晓华 (3833)

微波改性 MWNTs/TiO₂ 复合材料对 1,2,3-三氯苯的光催化降解研究 施周, 张茜, 张伟, 徐舜开, 张骅 (3840)

腐殖酸对生物炭去除水中 Cr(VI) 的影响机制研究 丁文川, 田秀美, 王定勇, 曾晓岚, 徐茜, 陈健康, 艾小雨 (3847)

臭氧氧化-活性污泥法处理含 PVA 工业废水的试验研究 邢晓琼, 黄程兰, 刘敏, 陈滢 (3854)

复合底物对颗粒化 EBPR 系统除磷特性的影响及优化试验研究 徐少娟, 孙培德, 郑雄柳, 董毅 (3859)

进水比例对水解反应器出水水质的影响研究 梁康强, 熊娅, 戚茂荣, 林秀军, 朱民, 宋英豪 (3868)

厌氧-准好氧联合型生物反应器填埋场渗滤液水质水量变化规律的研究 韩智勇, 刘丹, 李启彬, 陈馨 (3873)

我国城市污水处理回用调查研究 郭宇杰, 王学超, 周振民 (3881)

快雌醇和壬基酚在土壤中的吸附-解吸特征 姜鲁, 王继华, 李建忠, 辛佳, 李森, 刘翔 (3885)

黄土丘陵区刺槐林深层土壤有机碳矿化特征初探 马昕昕, 许明祥, 杨凯 (3893)

半干旱黄土丘陵区土壤结皮的地表水文效应 卫伟, 温智, 陈利顶, 陈瑾, 吴东平 (3901)

广西大石围巨型漏斗土壤中多环芳烃与环境因素 孔祥胜, 祁士华, 蒋忠诚, 黄保健 (3905)

酸性条件下黄铁矿氧化机制的研究 王楠, 易筱筠, 党志, 刘云 (3916)

淋洗条件下砂土和粉土水盐运移过程的监测研究 付腾飞, 贾永刚, 郭磊, 刘晓磊 (3922)

空气注射修复苯污染地下水模拟研究 樊艳玲, 姜林, 张丹, 钟茂生, 贾晓洋 (3927)

不同终点检测 5 种双酚 A 类化合物对 MCF-7 的细胞毒性 张帅帅, 刘堰, 刘树深, 朱祥伟 (3935)

上海世博园后滩湿地糙足类群落特征及其对环境因子的响应 陈立婧, 吴艳芳, 景钰湘, 王聪, 张饮江 (3941)

耐盐石油烃降解菌的筛选鉴定及其特性研究 吴涛, 谢文军, 依艳丽, 李小彬, 王君, 胡相明 (3949)

高效降酚菌株 *Ochrobactrum* sp. CH10 生长动力学和苯酚降解特性的研究 陈晓华, 魏刚, 刘思远, 孙江曼, 王芳芳, 李昊源, 刘宇军 (3956)

四溴双酚 A 好氧降解菌的筛选及其降解特性研究 钱艳园, 刘莉莉, 于晓娟, 丁丛, 王志平, 施玉衡, 李晨君 (3962)

长期施用有机和无机肥对黑土 *nirS* 型反硝化菌种群结构和丰度的影响 尹昌, 范分良, 李兆君, 宋阿琳, 朱平, 彭畅, 梁永超 (3967)

三氯乙烯在不同土壤中的吸附特性及其影响因素研究 何龙, 邱兆富, 吕树光, 逯志昌, 王治立, 隋倩, 林匡飞, 刘勇弟 (3976)

多菌灵在农田土壤中的降解及其影响因子研究 肖文丹, 杨肖娥, 李廷强 (3983)

硫化物对垃圾焚烧污泥焚烧飞灰高温过程中重金属挥发的影响 刘敬勇, 孙水裕 (3990)

关于医疗垃圾飞灰中二噁英在惰性气氛下的低温热脱附研究 纪莎莎, 李晓东, 徐旭, 陈彤 (3999)

第七届环境模拟与污染控制学术研讨会论文

稻田气溶胶 NH₃ 和气体 NO_x 排放在线测定研究 龚巍巍, 栾胜基 (4006)

一种可同时检测挥发性氯代烷烃和氯代烯烃的电子鼻的研制 文晓刚, 刘锐, 蔡强, 万梅, 汤灵容, 陈吕军 (4012)

基于被动采样技术的垃圾焚烧厂及周边大气中 PAHs 分布研究 孙少艾, 李洋, 周轶, 王海蛟, 孙英 (4018)

涪江流域农业非点源污染空间分布及污染源识别 丁晓雯, 沈珍瑶 (4025)

人工湿地不同区域基质磷含量的差异分析 曹雪莹, 种云霄, 余光伟, 仲海涛 (4033)

基于 RT-qPCR 选择性检测水中活性病原菌 林怡雯, 李丹, 吴舒旭, 何苗, 杨天 (4040)

消毒副产物生成的温度影响和动力学模型 张小璐, 杨宏伟, 王小任, 付静, 解跃峰 (4046)

一种厌氧微定量研究新方法 张仲良, 吴静, 蒋剑凯, 姜洁, 李怀志 (4052)

梧桐树叶作为反硝化碳源的研究 熊剑锋, 徐华, 阎宁, 张永明 (4057)

降解嗜盐菌 AD-3 的筛选、降解特性及加氧酶基因的研究 崔长征, 冯天才, 于亚琦, 董斐, 杨昕梅, 冯耀宇, 刘勇弟, 林汉平 (4062)

《环境科学》征订启事 (3711) 《环境科学》征稿简则 (3767) 信息 (3998, 4039, 4045, 4056) 专辑征稿通知 (4051)

人工湿地不同区域基质磷含量的差异分析

曹雪莹, 种云霄*, 余光伟, 仲海涛

(华南农业大学资源环境学院, 广东省高等学校土壤环境与废物资源农业利用重点实验室, 广州 510642)

摘要: 基质吸附是人工湿地磷去除的主要途径, 吸附能力易受环境条件的影响, 为了探讨人工湿地运行时内部多样化理化环境对基质磷吸附的影响, 以相同基质的无植物和有植物水平潜流人工湿地实验系统为对象, 在对人工配制有机污水进行 5 个月处理后, 分析了 2 个系统不同区域基质中总磷及各主要无机态磷的含量. 结果表明, 植物系统各部分基质中总磷含量呈现较大的差异, 总磷最高的进水区根际基质达 $0.75 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 其次是进水区抖落和出水区根际基质, 最低的出水区非根际基质只有 $0.21 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 无植物系统各部分基质总磷含量比较接近, 在 $0.21 \sim 0.27 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间, 总体来看, 植物系统基质总磷含量高于无植物系统; 与实验前相比, 两系统各部分基质中 铁磷、铝磷和钙磷含量都升高, 是基质吸附无机磷的主要赋存形式, 铁磷和铝磷在两系统不同区域基质中变化特点相似, 植物系统进水区根际、抖落基质铁磷、铝磷含量大幅增加, 而出水区和无植物系统各部分增加量相对较少; 两系统各部分基质钙磷含量升高相对较均衡, 但植物系统进水区和出水区根际基质含量也略高于其他部分; 两系统各部分基质松散结合态磷和闭蓄态磷含量都较低; 植物根系对基质磷含量具有明显影响, 总磷、铁磷、铝磷、钙磷和松散结合态磷含量呈现距离植物根系越近含量越高的特点.

关键词: 人工湿地; 总磷; 无机磷; 基质; 污水处理

中图分类号: X52 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)11-4033-07

Difference of P Content in Different Area Substrate of Constructed Wetland

CAO Xue-ying, CHONG Yun-xiao, YU Guang-wei, ZHONG Hai-tao

(Key Laboratory of Soil Environment and Waste Reuse in Agriculture of Guangdong Higher Education Institutions, College of Resources and Environment, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: Adsorption of substrate is the main removal mechanisms of phosphorus in constructed wetland. It is easily impacted by various environmental factors existing in the wetland bed. The contents of substrate TP and the main inorganic P in different areas of both horizontal sub-surface flow constructed wetland with plant and one without plant were measured after treating wastewater five months. Different areas of the wetland with plant differed greatly in the substrate TP. Rhizosphere substrate in front area had the highest TP content and achieved $0.75 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, and the TP content of non-rhizosphere substrate in back area was only $0.21 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$. The TP content of substrate in different areas of the wetland without plant had a little variety and ranged only between 0.21 and $0.27 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$. Averagely, the substrate TP content in the wetland with plant was higher than the one in the wetland without plant. The phosphorous with Fe-bound (Fe-P), Al-bound (Al-P), and Ca-bound (Ca-P) were main inorganic phosphorous existing in the substrate in both wetlands, their contents in different areas substrate all increased, compared with the one before experiment. Fe-P and Al-P in different substrates in both wetlands had a similar variety. Their content between rhizosphere and intermediate substrate of front area in the wetland with plant and other area substrate in both wetlands differed greatly because the former increased greatly. Compared with Fe-P and Al-P, the variety of Ca-P in different substrates in both wetlands was low. But the content of Ca-P in rhizosphere substrate in wetland with plant was higher than other two parts respectively in front and back areas. Obviously, the plant root had an impact on the phosphorous content of substrate in constructed wetland. For TP, Fe-P, Al-P, Ca-P and loosely sorbed phosphorous in substrate, it increased with distance of the root.

Key words: constructed wetland; total phosphorus; inorganic phosphorus; substrate; wastewater treatment

人工湿地是对自然湿地系统的模拟与人工强化, 主要由经人工筛选的基质材料和水生植物组合构建而成, 已被广泛研究应用于生活污水、养殖废水、暴雨径流以及矿山废水等多种污水的处理^[1]. 磷是许多人工湿地工程去除的主要目标污染物之一^[2-4], 基质的吸附是其去除的主要途径^[5-7], 包括基质颗粒表面的物理吸附作用和基质含有的铁铝钙等物质对磷的化学沉淀作用, 但基质的吸附能力易受环境条件的影响, 如铁、铝、钙与可溶性磷的化

学沉淀均受到 pH 的影响^[5]. 人工湿地运行时, 在基质床内部由于植物根系的生长、污水有机物的降解、氧传输不均匀等原因导致床体内形成多样化的理化环境^[8], 无疑会影响基质颗粒磷吸附, 导致床体不同区域基质磷吸附量出现差异.

收稿日期: 2012-02-11; 修订日期: 2012-05-15

基金项目: 国家自然科学基金项目(50908090); 环境模拟与污染控制国家重点联合实验室开放基金项目(09K02ESPCT)

作者简介: 曹雪莹(1987~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为污水处理生态技术, E-mail: katye009@qq.com

* 通讯联系人, E-mail: cyx04@scau.edu.cn

本研究以相同基质的无植物和有植物水平潜流人工湿地实验系统为对象,在其对有机污水进行5个月处理后,对比分析了2个系统不同区域基质中总磷及各主要无机态磷的含量,以进一步阐明人工湿地运行过程中磷的去除机制。

1 材料与方 法

1.1 人工湿地实验系统构建

由PVC板构建两个长宽高200 cm × 100 cm × 50 cm湿地床,床体两端各放置15 cm长的粒径为3~5 cm的碎石作为布水与集水区,中间170 cm放置粒径1~2 mm普通河砂(购自珠江砂场),主要成分为SiO₂,铁、钙、铝的含量经测定分别为:(8.69 ± 0.802)、(0.071 ± 0.012)、(13.1 ± 1.38) g·kg⁻¹。2011年6月初建成后,其中一个系统处理区移均匀植入5株宽叶香蒲(采自广州南沙湿地),

另一系统不种植物,每10 d两系统都喷洒营养液10 L(由化肥制成,含氮、磷分别为10、3 mg·L⁻¹),1个月后香蒲增加至20株,基本覆盖整个系统,进行污水处理。

1.2 运行条件

两系统均采用水平潜流方式,水力负荷为180~220 L·d⁻¹,污水处理实验在2010年7月初至12月初期间进行。

1.3 污水配置与特性

污水由干鸡粪(取自学校实验种鸡场)和自来水人工配置,在储水池经初步水解酸化后泵进人工湿地进水区,其中,水泵进水管加装60目滤网,以过滤较大的悬浮物,避免系统堵塞。实验期间系统进水的主要污染物指标总氮(TN)、氨氮(NH₄⁺-N)、总磷(TP)、化学需氧量(COD)和生物化学需氧量(BOD₅)范围见表1。

表1 有机污水主要污染物指标/mg·L⁻¹
Table 1 Main pollutant of wastewater/mg·L⁻¹

TN	NH ₄ ⁺ -N	TP	COD	BOD ₅
18.11 ~ 36.83	4.61 ~ 12.24	3.29 ~ 9.29	146.60 ~ 376.70	106.34 ~ 218.13

1.4 污水检测

在两系统运行期间,每5 d采一次水样,对进出水的TN、NH₄⁺-N、TP、COD进行分析测定,并对每个指标平均去除率R按下式进行计算:

$$R = \frac{c_{im} - c_{em}}{c_{im}} \times 100\%$$

式中,c_{em}为所有出水测定值的平均,c_{im}为所有进水测定值的平均。

1.5 基质样品采集与测定

待系统运行结束后,对整个湿地床体进行拆解。首先将水排干,系统两端的布水集水区碎石搬离,剩下处理区,在中间处均分为进水区与出水区。无植物人工湿地系统处理区基质按空间位置均分为4部分依次拆解出:进水区上部、出水区上部、进水区下部、出水区下部;有植物系统根据空间及基质与根系的粘附关系分为6部分:进水区根际基质、进水区抖落基质、进水区非根际基质、出水区根际基质、出水区抖落基质、出水区非根际基质,拆解时,先将香蒲地上部收割,留下约3 cm的茎,以作拔出地下部之用,在进水区和出水区分界处,轻轻松动基质,然后用长刀逐渐向下将地下根系完全割断分开,将两区表层河砂基质分别向两边碎石搬离后的空隙推落,逐渐将两区地下根系露出,待整个区域根系完

全松动后,将根系大部分拔出,然后用力抖动5~10 min,直至携带基质不再被抖落,抖落下来的基质即为抖落基质,系统下部未被根系带出的基质为非根际基质。将根系风干2 d后,用玻璃棒轻轻敲落粘附在根表的基质,即为根际基质。两系统各部分基质按土壤“四分法”采样品^[9],对其中的总磷(TP)和各无机态磷包括:松散结合态磷(L-P)、铝结合态磷(Al-P)、铁结合态磷(Fe-P)、钙结合态磷(Ca-P)、闭蓄态磷(O-P)进行分级测定。

1.6 分析测定方法

进出水水质监测的TN用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法,TP用钼酸铵分光光度法,NH₄⁺-N用纳氏试剂分光光度法,COD用分光光度法^[10]。基质的TP采用HClO₄-H₂SO₄消解后,钼锑抗比色法^[9]。基质中松散结合态磷、Al-P、Fe-P、O-P、Ca-P均采用酸性、中性土壤无机磷形态的分级测定方法^[9]。

2 结果与讨论

2.1 无植物系统与有植物系统污水处理能力对比

表2是两系统在运行期间对水中4种主要污染物的平均去除率,对TP和COD具有较高的去除率,TN、NH₄⁺-N去除率较低,有植物系统略高于无植物系统,这与大多数运行初期水平潜流人工湿地污水

处理效果相同^[11~14].

表2 无植物与有植物水平潜流人工湿地系统
对污染物去除效果/%

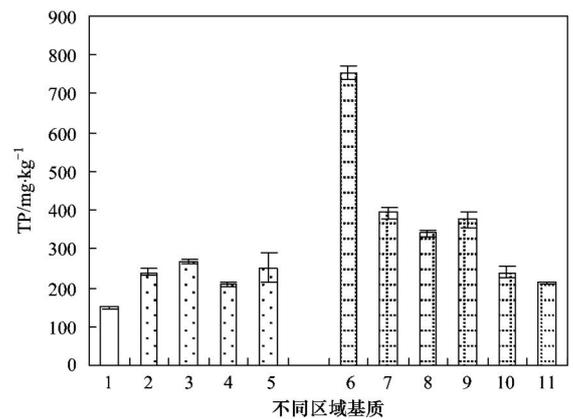
项目	TN	TP	NH ₄ ⁺ -N	COD
无植物系统	19.54	67.23	38.50	72.68
有植物系统	41.08	88.60	47.50	84.04

运行初期的人工湿地,由于基质仍具有较高的磷吸附容量,通常对污水中磷有较高的去除效率,本研究中,香蒲生物量快速扩增对磷的吸收应是植物系统具有更高磷去除效率的原因之一. 鸡粪经水解酸化后,含有大量易生物降解的有机物,可被湿地系统内微生物降解,而水平潜流人工湿地系统内通常氧供应不足,有机物的去除应该有部分厌氧降解的结果,大量有机物降解对氧的消耗应该也是NH₄⁺-N不能充分硝化进而通过反硝化去除的原因^[11],而植物系统由于根系可向周围环境释放氧,同时植物生长也会大量吸收水中的无机氮^[15,16],因此对TN、NH₄⁺-N去除率要高于无植物系统.

2.2 不同区域基质中TP含量

由图1可见,经过5个月污水处理,两系统各部分基质的总磷含量都比处理前升高,主要是由于污水中磷的滞留所致. 其中,无植物系统各部分基质总磷含量比较接近,在0.21~0.27 g·kg⁻¹之间,前部略高于后部. 但植物系统各部分基质中总磷则有较大的差异,进水区根际基质总磷高达0.75 g·kg⁻¹,远高于其他部分,其次是进水区抖落基质和出水区根际基质,最低的是出水区非根际基质只有0.21 g·kg⁻¹. 总体来看,前部高于后部,而且呈现出距离植物根系越近含量越高的特点,表明植物根系对运行中湿地系统基质磷的滞留具有明显的影响;与无植物系统相比,植物系统只有后部的抖落和非根际2部分基质中总磷含量与其接近,其余4部分都高于无植物系统中各部分基质,这使得植物系统中基质对磷整体滞留能力高于无植物系统,应是植物系统对污水磷具有更高去除率另一个重要原因.

基质中总磷可分为2部分:有机磷和无机磷^[5],有机磷主要是微生物细胞同化的磷及死亡脱落植物组织中磷,无机磷主要是基质通过物理和化学作用吸附的磷. 许多研究表明,由于植物根系放氧和其他的一些分泌物,植物系统中微生物的种类及数量都比无植物系统更丰富^[17,18],这可能是植物系统中基质总磷含量要高于无植物系统的一个原因.



1. 实验前基质; 2. 无植物系统进水区上部基质; 3. 无植物系统进水区下部基质; 4. 无植物系统出水区上部基质; 5. 无植物系统出水区下部基质; 6. 植物系统进水区根际基质; 7. 植物系统进水区抖落基质; 8. 植物系统进水区非根际基质; 9. 植物系统出水区根际基质; 10. 植物系统出水区抖落基质; 11. 植物系统出水区非根际基质,下同

图1 实验前后植物和无植物人工湿地床体
不同区域基质的TP含量

Fig. 1 Content of TP in substrate of different areas in both constructed wetland with plant and one without plant

2.3 不同区域基质中各无机态磷的含量

2.3.1 松散结合态磷

图2显示了两系统不同区域基质中松散结合态磷含量,该形态磷含量比较低,范围在2~14 mg·kg⁻¹,与实验前3.8 mg·kg⁻¹相比,无植物系统中各部分基质,除前上部含量基本无变化外,其余3部分的含量都有降低;植物系统各部分变化相差较大,进水区和出水区根际基质中该形态磷含量有较大升高,进水区根际基质达到14.27 mg·kg⁻¹,进水区抖落和非根际基质只是略有增加,而出水区抖落和非根际基质则是出现降低.

松散结合态磷是基质颗粒表面结合较松散的无机磷,主要是物理吸附的磷,非常易解吸^[19]. 从研究结果看,实验使用的河砂基质颗粒中该类赋存形式无机磷明显受到植物根系影响,与根系直接接触的部分,吸附量大幅增加,而其他区域基质该形态磷含量没有增加,表明在实验前已基本达到饱和,不能通过此种方式再吸附磷,在基质床体后部出水区域含量下降,应该是由于水中磷含量降低,使得已吸附的磷被部分解吸出所致;总体来看,松散结合态磷含量在基质整个无机磷含量中比重较小,即使是在含量大幅提高的根际基质中也不是无机磷的重要组成.

2.3.2 铝结合态磷(Al-P)

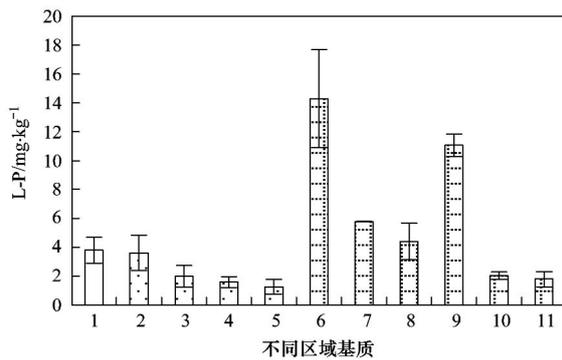


图2 实验前后2人工湿地系统各部分基质的松散结合态磷含量
Fig. 2 Content of loosely absorbed P in substrate of different areas in both constructed wetland with plant and one without plant

图3显示了两系统各部分基质中铝结合态磷含量,实验前基质的Al-P含量也较低,只有 $4.4 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,与松散结合态磷含量接近,经过5个月污水处理后,2系统各部分基质该形态磷含量都有增加,其中植物系统进水区根际、抖落和非根际3部分基质含量大幅增加,分别达到 75.24 、 42.97 和 $30.55 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,而出水区增加量相对较少,只增加到 $6.5 \sim 12.3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,在出水区根际和抖落基质含量也略高于非根际基质;无植物系统中各部分含量达到 $9 \sim 16 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 之间,进水区略高于出水区。

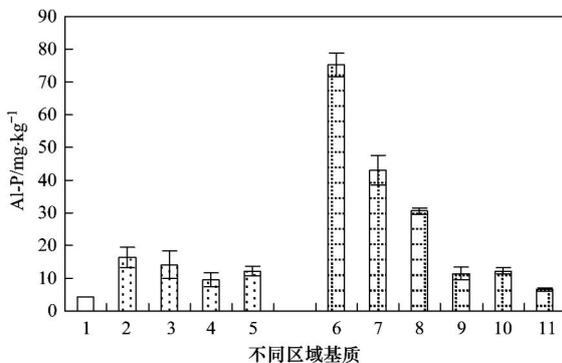


图3 实验前后人工湿地各部分基质的Al-P浓度分布
Fig. 3 Content of Al-P in substrate of different areas in both constructed wetland with plant and one without plant

铝磷主要是与基质中铝结合的磷酸盐,本研究所使用河砂中含有 $(13.1 \pm 1.38) \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的铝,实验前铝磷含量较低,因此对污水中无机磷仍有较高的吸附容量,这使得两系统各部分基质铝磷含量都得以升高,在基质新增无机磷中占有较高的比重,特别是在植物系统进水区的根际和抖落基质中更加明显,仅次于含量最高的铁磷,成为基质吸附的无机磷的主要赋存形式。两系统进水区基质铝磷高于出水区,这主要是由于水平潜流人工湿地污水磷沿程降

低所致^[20],进水区接触的污水具有较高磷浓度,使得基质中铝能够较充分与磷发生沉淀反应,到出水区水中可反应的无机磷含量降低,致使铝磷含量也降低。靠近植物根系的根际和抖落基质颗粒具有更高的铝磷结合量,应该与植物根系影响有关。

2.3.3 铁结合态磷 Fe-P

由图4可见,实验前河砂基质Fe-P含量也较低,只有 $5.7 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,处理结束后,两系统各部分基质都有所升高,与铝磷含量变化特点相似,植物系统进水区根际和抖落基质Fe-P含量也得到大幅升高,分别达到 $157.14 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $70.39 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,远高于其他区域基质,出水区整体含量较低,但也呈现出根际和抖落基质比非根际高的特点;无植物系统各部分含量升高到 $14.1 \sim 28.7 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 之间,进水区略高于出水区。

铁磷主要是与基质中铁结合的无机磷酸盐,铁结合磷特性与铝相似,并且河砂基质实验前铁磷含量也比较低,因此与铝磷一样,铁磷也在两系统各部分基质新增无机磷中占有较大比重,在植物系统进水区根际和抖落基质中则成为含量最高的无机磷,应该是本研究的湿地系统对污水无机磷吸附去除的一个主要途径;基质颗粒铁磷含量升高也与根系距离有关,在前部和后部区域,都呈现距根系越近,铁磷含量越高的特点。

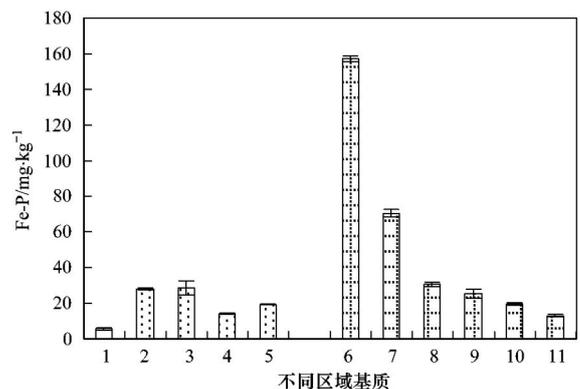


图4 实验前后人工湿地各部分基质的Fe-P浓度分布
Fig. 4 Content of Fe-P in substrate of different areas in both constructed wetland with plant and one without plant

2.3.4 钙结合态磷 Ca-P

由图5可见,实验前河砂基质Ca-P已比较高,达到 $44.55 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,污水处理结束后,两系统各部分基质该形态磷都有增加,无植物系统各部分基质含量在 $44.55 \sim 74.69 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 之间,与前3种无机形态磷含量进水区高于出水区的变化特点有所不同,出水区下部基质Ca-P增加最多、其次是进水区

下部; 而植物系统中各部分基质钙磷含量分布相对比较均匀, 前部和后部根际基质略高于其他 4 部分, 分别达到 $99.97 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $89.67 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. 整体来看, 植物系统各部分基质该形态磷含量略高于无植物系统.

相比于铁和铝的含量, 本研究所使用河砂基质中钙含量较低, 且实验前已结合较多磷, 对磷剩余吸附容量较低, 再加上有较高吸附容量的铁、铝的竞争, 致使两系统各部分基质钙磷含量增加幅度没有铁磷和铝磷高, 但平均绝对增加量也只是略低于铝磷、铁磷, 因此钙的化学吸附也是本研究湿地系统基质对磷滞留的一个重要途径. 尽管在植物系统, 钙磷含量分布相对均匀, 但与根系直接接触的根际基质颗粒中含量还是更高一些, 表明钙与磷的结合也受到了根系的影响.

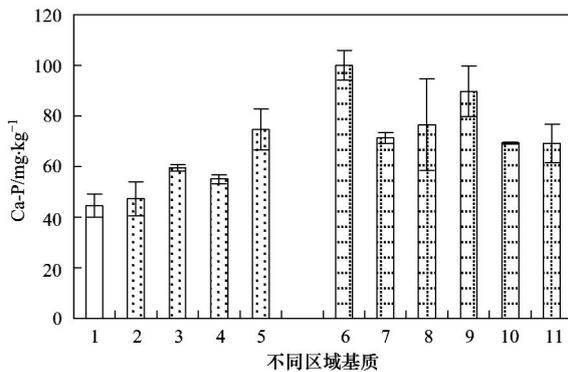


图5 实验前后人工湿地各部分基质的 Ca-P 浓度分布

Fig. 5 Content of Ca-P in substrate of different areas in both constructed wetland with plant and one without plant

2.3.5 闭蓄态磷 O-P

由图 6 可见, 闭蓄态磷实验前含量很低只有 $2.39 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 污水处理结束后, 两系统各部分基质变化都不大, 无植物系统各部分略有增加, 最高也只有 $3.34 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 植物系统进水区根际和出水区非根际基质降低外, 其他部分也是略有增加, 最高为 $4.07 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. 整体来看, 该形态磷含量比较低, 与松散结合态磷相似, 不是基质无机磷主要结合形式.

2.4 植物根系对磷吸附去除的影响

2.4.1 对基质无机态磷吸附的影响

基质结合的 5 种无机态磷中, 有 4 种受到植物根系的影响, 即越靠近根系, 基质无机磷吸附量越高, 首先可能是由于植物根系生长导致基质床体内空间异质性增大, 改善根系周围水力流态, 使流动死区减少^[21], 能够不断更新污水与基质接触, 有利于附近基质对污水磷的吸附^[5]; 对于植物系统的进水

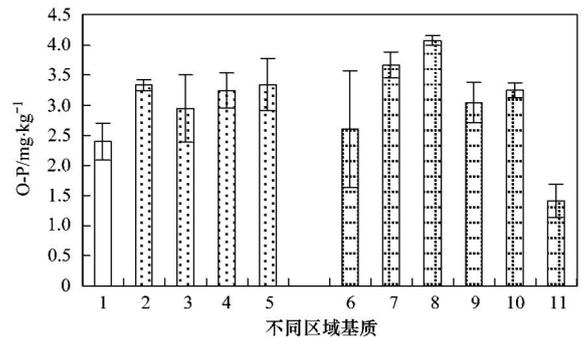


图6 实验前后人工湿地各部分基质的 O-P 浓度分布

Fig. 6 Content of O-P in substrate of different areas in both constructed wetland with plant and one without plant

区根际和抖落基质中松散结合态磷、铁磷和铝磷远高于其他部分, 其原因可能与有机物的厌氧酸化降解导致的基质中铁铝溶解迁移有关. 本研究所使用的人工污水中含有大量可生物降解的有机物, 经初步水解酸化以及在人工湿地厌氧区进一步厌氧酸化后 pH 可能降低, 致使基质表面铁铝出现部分溶解, 而植物根系部分氧供应充足^[22], 使小分子有机酸被完全氧化分解, 污水 pH 升高, 溶解的铁铝重新沉积在根系附近基质上. 再有, 铁是变价金属, 三价铁离子具有一定的氧化能力, 可被小分子有机酸还原为亚铁离子, 亚铁离子在根系区域遇到氧后很快被氧化为三价铁重新沉积在根系附近基质或根系表面 (被称为铁膜)^[23,24], 这在自然湿地和稻田已被研究证实^[25]. 本研究中, 香蒲根系表面也形成了棕红色铁膜 (未列出), 应该是铁迁移的结果, 新形成的铁铝氧化物沉淀通常具有较大的比表面积可通过物理吸附和配合作用结合更多无机磷^[25,26], 使得根系附近基质具有更高的无机磷结合能力, 但这推断还需进一步研究证实.

2.4.2 磷在湿地根区聚集对湿地磷去除效率的影响

从本研究结果看, 植物根系形成的微生态环境条件, 使得不管是总磷还是无机磷都在根际区域基质具有较高聚集量, 这一现象曾被多个研究报道. 吴振斌^[27]等研究表明, 高负荷运行下, 湿地系统表层出现磷的显著积累, Huett 等^[28]研究间歇污水处理人工湿地研究发现, 植物根际区域是一个磷的沉积库, 而刘树元等^[29]研究发现根系富集的小叶章和芦苇湿地表层对溶解性总磷去除负荷高于下层, 这些都可能与根系周围基质高磷吸附量有关. 磷在根区基质富集与根系氧化活力有关, 冬天地上部分死亡后, 植物组织磷也回流地下部分^[16], 加之根区氧化性消失^[22], 过高的磷富集区可能首先成为磷的释放

区,冬天湿地系统磷去除率下降^[30],这可能是一个直接的原因.而另一方面看,磷在根区基质富集,使得植物的生长具有充足磷供应,在生长季节能够保证磷源源不断向地上部分运输,满足茎叶生物量快速扩增需要,这样在生长季节,通过不断收割扩增生物量带走根区富集的磷就提供可能,但地上部分收割可能会影响到根系氧气供应,降低污水去除效率,具体的收割策略还需根据具体情况进行科学的制订.

3 结论

(1)经5个月污水处理后人工湿地植物和非植物系统基质总磷含量都升高,但不同区域间存在差别.无植物系统各部分基质总磷含量差异不大,比较接近,在 $0.21 \sim 0.27 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间;植物系统各部分基质中总磷含量则有较大的差异,进水区根际基质总磷最高,达 $0.75 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,其次是进水区抖落基质和出水区根际基质,最低的是出水区非根际基质只有 $0.21 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,呈现出距离植物根系越近含量越高的特点;总体来看,植物系统基质总磷含量高于无植物系统.

(2)铁磷、铝磷和钙磷含量在基质新增无机磷中占有较大比重,是基质所吸附无机磷的主要赋存形式.铁磷和铝磷在两系统不同区域基质中变化特点相似,都是在植物系统各部分基质差异较大,进水区根际、抖落基质中铁磷、铝磷含量都大幅增加,成为该部分基质无机磷的主要组成,铁磷又高于铝磷,出水区和无植物系统各部分增加量相对较少,在植物系统出水区和进水区,两种形式磷也呈现出距离根系越近,含量越高的特点;两系统各部分基质钙磷含量升高相对较均衡,但植物系统进水区和出水区根际基质含量也略高于其他部分.

(3)松散结合态磷和闭蓄态磷含量都比较低,在基质吸附无机磷中比重较低;但松散结合态磷含量也明显受到根系影响,在植物系统的进水区和出水区根际基质中大幅增加,其他部分基质变化不大,甚至在出水区出现下降.

参考文献:

[1] 周琪. 人工湿地技术在污水处理与环境保护中的应用与展望[J]. 给水排水, 2009, **35**(7): 1-3.
 [2] 刘超翔, 胡洪营, 张建, 等. 不同深度人工复合生态床处理农村生活污水的比较[J]. 环境科学, 2003, **24**(5): 92-96.
 [3] 杨长明, 马锐, 山城幸, 等. 组合人工湿地对城镇污水处理厂尾水中有机物的去除特征研究[J]. 环境科学学报, 2010, **30**(9): 1804-1810.

[4] 张荣社, 周琪, 张建, 等. 潜流构造湿地去除农田排水中氮的研究[J]. 环境科学, 2003, **24**(1): 113-116.
 [5] 李晓东, 孙铁珩, 李海波, 等. 人工湿地除磷研究进展[J]. 生态学报, 2007, **27**(3): 1226-1232.
 [6] 袁东海, 景丽洁, 张孟群, 等. 几种人工湿地基质净化磷素的机理[J]. 中国环境科学, 2004, **24**(5): 614-617.
 [7] 梁威, 吴振斌. 人工湿地对污水中氮磷的去除机制研究进展[J]. 环境科学动态, 2000, **12**(3): 32-37.
 [8] 张涛, 宋新山. 潜流人工湿地理化性质及不同形态氮素的空间分布[J]. 生态环境学报, 2010, **19**(6): 1343-1347.
 [9] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. (第三版). 北京: 中国农业出版社, 2000.
 [10] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
 [11] Vymazal J. The use constructed wetlands with horizontal subsurface flow for various types of wastewater [J]. Ecological Engineering, 2009, **35**(1): 1-17.
 [12] Vymazal J. Removal of nutrients in various types of constructed wetlands[J]. Science of the Total Environment, 2007, **380**(1-3): 48-65.
 [13] Drizo A, Frost C A, Smith C A, et al. Phosphate and ammonium removal by constructed wetlands with horizontal subsurface flow, using shale as a substrate[J]. Water Science and Technology, 1997, **35**(6): 95-102.
 [14] Dunne E J, Culletonb N, O'Donovanc G, et al. Phosphorus retention and sorption by constructed wetland soils in Southeast Ireland[J]. Water Research, 2005, **39**(18): 4355-4362.
 [15] Greenway M, Woolley A. Constructed wetlands in Queensland: performance efficiency and nutrient bioaccumulation [J]. Ecological Engineering, 1999, **12**(1-2): 39-55.
 [16] 吴淑杭, 徐亚同, 姜震方, 等. 梦清园人工湿地芦苇的氮磷和生物量动态及其适宜收割期的研究[J]. 农业环境科学学报, 2006, **25**(6): 1594-1597.
 [17] 陈永华, 吴晓美, 陈明利, 等. 人工湿地污水处理系统中植物套种模式根际微生物多样性研究[J]. 环境科学, 2011, **32**(8): 2397-2402.
 [18] 殷峻, 闻岳, 周琪. 人工湿地中微生物生态的研究进展[J]. 环境科学与技术, 2007, **30**(1): 108-110.
 [19] 付永清, 周易勇. 沉积物磷形态的分级分离及其生态学意义[J]. 湖泊科学, 1999, **11**(4): 376-381.
 [20] 栾晓丽, 王晓, 赵钰, 等. 复合垂直流与潜流人工湿地沿程脱氮除磷对比研究[J]. 环境污染与防治, 2009, **31**(11): 26-34.
 [21] 刘超翔. 提高人工湿地生活污水处理性能的研究[D]. 北京: 清华大学, 2003.
 [22] 鄢璐, 王世和, 雒维国, 等. 运行条件下潜流型人工湿地溶氧状态研究[J]. 环境科学, 2006, **27**(10): 2009-2013.
 [23] 刘文菊, 朱永官. 湿地植物根表的铁锰氧化物膜[J]. 生态学报, 2005, **25**(2): 358-363.
 [24] 何春娥, 刘学军, 张福锁. 植物根表铁膜的形成及其营养与生态环境效应[J]. 应用生态学报, 2004, **15**(6): 1069-1073.

- [25] 苏玲, 林咸永, 章永松, 等. 水稻土淹水过程中不同土层铁形态的变化及对磷吸附解吸特性的影响[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2001, **27**(2): 124-128.
- [26] Khalid R A, Patrick W H Jr, DeLaune R D. Phosphorus sorption characteristics of flooded soil[J]. Soil Science Society of America Journal, 1977, **41**: 305-310.
- [27] 吴振斌, 张晟, 张金莲, 等. 人工湿地组合系统除磷的净化空间研究[J]. 环境科学与技术, 2007, **30**(11): 77-80.
- [28] Huett D O, Morris S G, Smith G, *et al.* Nitrogen and phosphorus removal from plant nursery runoff in vegetated and unvegetated subsurface flow wetlands [J]. Water Research, 2005, **39**(14): 3259-3272.
- [29] 刘树元, 阎百兴, 王莉霞. 潜流人工湿地中氮磷污染物净化的分层效应研究[J]. 环境科学, 2011, **32**(3): 723-728.
- [30] 雒维国, 王世和, 黄娟, 等. 潜流型人工湿地冬季污水净化效果[J]. 中国环境科学, 2006, **26**(Z1): 32-35.

《环境科学》再获“百种中国杰出学术期刊” 和“中国精品科技期刊”称号

2011年12月2日,中国科技论文统计结果发布会在北京举行,会议公布了“百种中国杰出学术期刊”和“中国精品科技期刊”获奖名单.《环境科学》连续10次荣获“百种中国杰出学术期刊”称号和再次荣获“中国精品科技期刊”称号.

“百种中国杰出学术期刊”是根据中国科技学术期刊综合评价指标体系进行评定.该体系利用总被引频次、影响因子、基金论文比、他引总引比等多个文献计量学指标进行统计分析,对期刊分学科进行评比,其评价结果客观公正,为我国科技界公认,并具有广泛影响.

CONTENTS

Characteristics of Atmospheric NO ₂ in the Beijing-Tianjin-Hebei Region and the Yangtze River Delta Analyzed by Satellite and Ground Observations	WANG Ying, LI Ling-jun, LIU Yang (3685)
Variation Analysis of Background Atmospheric Pollutants in North China During the Summer of 2008 to 2011	YANG Jun-yi, XIN Jin-yuan, JI Dong-sheng, <i>et al.</i> (3693)
Characteristics of Atmospheric Pollutants in Cangzhou	WANG Yong-hong, HU Bo, WANG Yue-si, <i>et al.</i> (3705)
Chemical Characteristics and Sources of Trace Metals in Precipitation Collected from a Typical Industrial City in Northern China	LI Yue-mei, PAN Yue-peng, WANG Yue-si, <i>et al.</i> (3712)
BTX Monitoring Nearby Main Road Traffic in Guangzhou	YE Cong-lei, XIE Pin-hua, QIN Min, <i>et al.</i> (3718)
Dynamic Road Vehicle Emission Inventory Simulation Study Based on Real Time Traffic Information	HUANG Cheng, LIU Juan, CHEN Chang-hong, <i>et al.</i> (3725)
Emission Characteristics of a Diesel Car Fueled with Coal Based Fischer-Tropsch (F-T) Diesel and Fossil Diesel Blends	HU Zhi-yuan, CHENG Liang, TAN Pi-qiang, <i>et al.</i> (3733)
Spatial Variations of Biogenic Elements in Coastal Wetland Sediments of the Jiulong River Estuary	YU Xiao-qing, YANG Jun, LIU Le-mian, <i>et al.</i> (3739)
Spatio-Temporal Distribution of TN and TP in Water and Evaluation of Eutrophic State of Lake Nansi	SHU Feng-yue, LIU Yu-pei, ZHAO Ying, <i>et al.</i> (3748)
Impact on Nitrogen and Phosphorous Export of Wetlands in Tianmu Lake Watershed	LI Zhao-fu, LIU Hong-yu, LI Heng-peng (3753)
Nitrogen and Phosphorus Composition in Urban Runoff from the New Development Area in Beijing	LI Li-qing, LÜ Shu-cong, ZHU Ren-xiao, <i>et al.</i> (3760)
Distribution and Sources of Arsenic in Yangzonghai Lake, China	ZHANG Yu-xi, XIANG Xiao-ping, ZHANG Ying, <i>et al.</i> (3768)
Occurrence of Fecal Indicator Bacteria in Urban Surface Water: A Case Study in Southern China	SUN Fu, SHA Jing, LIU Yan-hua (3778)
Vertical Migration of Algal Cells in the Daning River Bay of the Three Gorges Reservoir	ZHANG Yong-sheng, ZHENG Bing-hui, JIANG Xia, <i>et al.</i> (3787)
Construct of Yangtze-Huai River Rural Areas Ecological Drainage System and Its Retention Effect on Pollutants	SHAN Bao-qing, LI Nan, TANG Wen-zhong (3797)
Water Treatment Efficiency of Constructed Wetland Plant-Bed/Ditch Systems	WANG Zhong-qiong, ZHANG Rong-bin, CHEN Qing-hua, <i>et al.</i> (3804)
Effect of the Subsurface Constructed Wetland Evolution into Free Surface Flow Constructed Wetland on the Removal of Organic Matter, Nitrogen, and Phosphorus in Wastewater	WEI Ze-jun, XIE Jian-ping, HUANG Yu-ming (3812)
Treatment Characteristics of Saline Domestic Wastewater by Constructed Wetland	GAO Feng, YANG Zhao-hui, LI Chen, <i>et al.</i> (3820)
Degradation of β -Naphthol by Catalytic Wet Air Oxidation	LIU Jie, YU Chao-ying, ZHAO Pei-qing, <i>et al.</i> (3826)
Degradation of 2,4-Dichlorophenol in Aqueous Solution by ZVI/EDDS/Air System	SUN Qian, ZHOU Hai-yan, CAO Meng-hua, <i>et al.</i> (3833)
Study on Photocatalytic Degradation of 1,2,3-Trichlorobenzene Using the Microwaved MWNTs/TiO ₂ Composite	SHI Zhou, ZHANG Qian, ZHANG Wei, <i>et al.</i> (3840)
Mechanism of Cr(VI) Removal from Aqueous Solution Using Biochar Promoted by Humic Acid	DING Wen-chuan, TIAN Xiu-mei, WANG Ding-yong, <i>et al.</i> (3847)
Research on the Treatment of Wastewater Containing PVA by Ozonation-Activated Sludge Process	XING Xiao-qiong, HUANG Cheng-lan, LIU Min, <i>et al.</i> (3854)
Effects of Composite Substrates on the Phosphorus Removal in Granule-based EBPR System and Its Optimization Experiment	XU Shao-juan, SUN Pei-de, ZHENG Xiong-liu, <i>et al.</i> (3859)
Research of Input Water Ratio's Impact on the Quality of Effluent Water from Hydrolysis Reactor	LIANG Kang-qiang, XIONG Ya, QI Mao-rong, <i>et al.</i> (3868)
Evolution of Leachate Quantity and Quality in the Anaerobic-semiaerobic Bioreactor Landfill	HAN Zhi-yong, LIU Dan, LI Qi-bin, <i>et al.</i> (3873)
National Survey of Urban Sewage Reuse in China	GUO Yu-jie, WANG Xue-chao, ZHOU Zhen-min (3881)
Sorption and Desorption of 17 α -Ethinyl Estradiol and 4-n-Nonylphenol in Soil	JIANG Lu, WANG Ji-hua, LI Jian-zhong, <i>et al.</i> (3885)
Soil Organic Carbon Mineralization of Black Locust Forest in the Deep Soil Layer of the Hilly Region of the Loess Plateau, China	MA Xin-xin, XU Ming-xiang, YANG Kai (3893)
Effects of Soil Crusts on Surface Hydrology in the Semiarid Loess Hilly Area	WEI Wei, WEN Zhi, CHEN Li-ding, <i>et al.</i> (3901)
Environmental Factors on Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Soils from Dashiwei Karst Giant Doline (Tiankeng) in Guangxi, China	KONG Xiang-sheng, QI Shi-hua, JIANG Zhong-cheng, <i>et al.</i> (3905)
Investigation on Mechanism of Pyrite Oxidation in Acidic Solutions	WANG Nan, YI Xiao-yun, DANG Zhi, <i>et al.</i> (3916)
Monitoring of Water and Salt Transport in Silt and Sandy Soil During the Leaching Process	FU Teng-fei, JIA Yong-gang, GUO Lei, <i>et al.</i> (3922)
Simulation on Remediation of Benzene Contaminated Groundwater by Air Sparging	FAN Yan-ling, JIANG Lin, ZHANG Dan, <i>et al.</i> (3927)
Detecting the Cytotoxicities of Five Bisphenol A Analogues to the MCF-7 Human Breast Carcinoma Cell Line Through Different Endpoints	ZHANG Shuai-shuai, LIU Yan, LIU Shu-shen, <i>et al.</i> (3935)
Response of Copepod Community Characteristics to Environmental Factors in the Backshore Wetland of Expo Garden, Shanghai	CHEN Li-jing, WU Yan-fang, JING Yu-xiang, <i>et al.</i> (3941)
Isolation, Identification and Characterization of Halotolerant Petroleum-degrading Bacteria	WU Tao, XIE Wen-jun, YI Yan-li, <i>et al.</i> (3949)
Growth Kinetics and Phenol Degradation of Highly Efficient Phenol-degrading <i>Ochrobactrum</i> sp. CH10	CHEN Xiao-hua, WEI Gang, LIU Si-yuan, <i>et al.</i> (3956)
Isolation of Aerobic Degrading Strains for TBBPA and the Properties of Biodegradation	QIAN Yan-yuan, LIU Li-li, YU Xiao-juan, <i>et al.</i> (3962)
Influences of Long-term Application of Organic and Inorganic Fertilizers on the Composition and Abundance of <i>nirS</i> -type Denitrifiers in Black Soil	YIN Chang, FAN Fen-liang, LI Zhao-jun, <i>et al.</i> (3967)
Characteristics and Influencing Factors of Trichloroethylene Adsorption in Different Soil Types	HE Long, QIU Zhao-fu, LÜ Shu-guang, <i>et al.</i> (3976)
Degradation of Carbazim in Paddy Soil and the Influencing Factors	XIAO Wen-dan, YANG Xiao-e, LI Ting-qiang (3983)
Effects of Sulphur Compounds on the Volatile Characteristics of Heavy Metals in Fly Ash from the MSW and Sewage Sludge Co-combustion Plant During the Disposal Process with Higher Temperature	LIU Jing-yong, SUN Shui-yu (3990)
Low-temperature Thermal Treatment of Dioxin in Medical Waste Fly Ash Under Inert Atmosphere	JI Sha-sha, LI Xiao-dong, XU-Xu, <i>et al.</i> (3999)
Hourly Measurement on Aerosol NH ₃ and Gas NO _x Emission in the Rice Field	GONG Wei-wei, LUAN Sheng-ji (4006)
Implementation of an Electronic Nose for Rapid Detection of Volatile Chloroalkane and Chloroalkene	WEN Xiao-gang, LIU Rui, CAI Qiang, <i>et al.</i> (4012)
Pilot Study on PAHs of the Atmosphere Around the Refuse Incineration Plant Based on the Technology of Passive Sampling	SUN Shao-ai, LI Yang, ZHOU Yi, <i>et al.</i> (4018)
Spatial Distribution and Pollution Source Identification of Agricultural Non-Point Source Pollution in Fujiang Watershed	DING Xiao-wen, SHEN Zhen-yao (4025)
Difference of P Content in Different Area Substrate of Constructed Wetland	CAO Xue-ying, CHONG Yun-xiao, YU Guang-wei, <i>et al.</i> (4033)
Selective Detection of Viable Pathogenic Bacteria in Water Using Reverse Transcription Quantitative PCR	LIN Yi-wen, LI Dan, WU Shu-xu, <i>et al.</i> (4040)
Formation of Disinfection By-products; Temperature Effect and Kinetic Modeling	ZHANG Xiao-lu, YANG Hong-wei, WANG Xiao-mao, <i>et al.</i> (4046)
A Novel Quantitative Approach to Study Dynamic Anaerobic Process at Micro Scale	ZHANG Zhong-liang, WU Jing, JIANG Jian-kai, <i>et al.</i> (4052)
Leaves of <i>Platanus orientalis</i> as the Carbon Source for Denitrification	XIONG Jian-feng, XU Hua, YAN Ning, <i>et al.</i> (4057)
Isolation, Characterization of an Anthracene Degrading Bacterium <i>Marteella</i> sp. AD-3 and Cloning of Dioxygenase Gene	CUI Chang-zheng, FENG Tian-cai, YU Ya-qi, <i>et al.</i> (4062)

《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11月15日 33卷 第11期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 11 Nov. 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. sciencecp. com	Distributed	by	Science Press Tel: 010-64017032 E-mail: journal@mail. sciencecp. com
订 购 处	全国各地邮局	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

国内外公开发刊