

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第36卷 第7期

Vol.36 No.7

2015

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

2013年12月中国中东部地区严重灰霾期间上海市颗粒物的输送途径及潜在源区贡献分析	李莉, 蔡蓓琳, 周敏 (2327)
长三角冬季一次霾过程气溶胶及其水溶性离子的区域分布特征	王曼婷, 朱彬, 王红磊, 薛国强, 何俊, 徐宏辉, 曹锦飞 (2337)
北京城区大气 PM _{2.5} 主要化学组分构成研究	刘保献, 杨懂艳, 张大伟, 陈添, 赵红帅, 陈圆圆, 陆皓昀 (2346)
2014年春季山东省 PM _{2.5} 跨界输送研究	贾海鹰, 程念亮, 何友江, 陈云波, 杜晓惠, 单晓丽 (2353)
燃煤电厂产生和排放的 PM _{2.5} 中水溶性离子特征	马子珍, 李振, 蒋靖坤, 叶芝祥, 邓建国, 段雷 (2361)
南京夏季城市冠层大气 CO ₂ 浓度时空分布规律的观测	高韵秋, 刘寿东, 胡凝, 王淑敏, 邓力琛, 于洲, 张圳, 李旭辉 (2367)
北京市机动车尾气排放因子研究	樊守彬, 田灵娣, 张东旭, 曲松 (2374)
北京不同污染地区园林植物对空气颗粒物的滞纳能力	张维康, 王兵, 牛香 (2381)
长三角地区火电行业主要大气污染物排放估算	丁青青, 魏伟, 沈群, 孙予罕 (2389)
基于区域循环模型 IAP-N 的安徽省农用地 N ₂ O 排放量估算	韩云芳, 韩圣慧, 严平 (2395)
不同源汇信息提取方法对区域 CO ₂ 源汇估算及其季节变化的影响评估	张芳, 周凌晔, 王玉诏 (2405)
实测/预测辽河铬(VI)水生生物基准与风险评估	王晓南, 闫振广, 刘征涛, 张聪, 王伟莉 (2414)
博尔塔拉河河水、表层底泥及河岸土壤重金属的污染和潜在危害评价	张兆永, 吉力力·阿不都外力, 姜逢清 (2422)
岩溶泉水化学性质及 δ ¹³ C _{DIC} 影响因素	赵瑞一, 吕现福, 刘子琦, 吕春艳 (2430)
柳江流域柳州断面水化学特征及无机碳汇通量分析	原雅琼, 何师意, 于爽, 孙平安, 王艳雪, 武招云, 李新桂, 谢明鲜, 刘文, 李瑞, 张华生 (2437)
重庆市主城区次级河流总氮总磷污染特征分析及富营养化评价	庆旭瑶, 任玉芬, 吕志强, 王效科, 庞容, 邓睿, 孟龄, 马慧雅 (2446)
三峡库区消落带土壤邻苯二甲酸二丁酯静态释放特征	王法, 王强, 木志坚, 杨志丹, 宋娇艳 (2453)
干湿循环对三峡支流消落带沉积物中可转化态氮及其形态分布的影响	林俊杰, 张帅, 杨振宇, 何立平, 周依, 张倩茹 (2459)
天山天池夏季叶绿素 a 的分布及富营养化特征研究	王斌, 马健, 王银亚, 尹湘江 (2465)
西大海湖沉积物营养盐垂直分布特征变化分析	段木春, 肖海丰, 臧淑英 (2472)
草街水库蓄水后嘉陵江浮游植物群落特征及水质评价	杨敏, 张晟, 刘朔孺 (2480)
宁波三江口水域原核生物群落结构分析	胡安谊, 李姜维, 杨晓永, 王弘杰, 于昌平 (2487)
全氟化合物对表层沉积物中细菌群落结构的影响	孙雅君, 王铁宇, 彭霞薇, 王佩 (2496)
菹草腐解-金鱼藻生长耦合作用对水质及植物生长的影响	马月, 王国祥, 曹勤, 王小云, 马杰 (2504)
生物滞留设施对城市地表径流低浓度磷吸附基质研究	李立青, 龚燕芳, 颜子钦, 单保庆 (2511)
复合填料生物渗滤系统处理城市雨水径流的研究	王晓璐, 左剑恶, 千里里, 邢薇, 缪恒峰, 阮文权 (2518)
3种典型消毒副产物对细菌抗生素抗性的影响	吕露, 张梦露, 王春明, 林惠荣, 于鑫 (2525)
基于透射光法探讨水流流速对 DNAPL 运移分布的影响	高燕维, 郑菲, 施小清, 孙媛媛, 徐红霞, 吴吉春 (2532)
BDD 和 PbO ₂ 电极电化学氧化苯并三氮唑的对比研究	伍娟丽, 张佳维, 王婷, 倪晋仁 (2540)
开放系统下方解石对邻苯二甲酸的吸附	李振炫, 黄利东, 陈艳芳, 缪晔, 刘大刚, 许正文 (2547)
碳纳米管-羟磷灰石对铅的吸附特性研究	张金利, 李宇 (2554)
刚果红分子印迹聚合物纳米微球的合成及吸附性能	常自强, 陈复彬, 张玉, 时作龙, 杨春艳, 章竹君 (2564)
碱热-酸热法合成二氧化钛-钛酸纳米管复合纳米材料对 Cd(II) 和苯酚的同步去除	雷立, 晋银佳, 王婷, 赵泉, 晏友, 刘文 (2573)
固定化菌剂对污水和牛粪中雌二醇和己烯雌酚的去除作用	李欣, 凌婉婷, 刘静娴, 孙敏霞, 高彦征, 刘娟 (2581)
PN-ANAMMOX 一体化反应器处理电子行业 PCB 废水	袁琬, 李祥, 周呈, 陈宗姮 (2591)
Fenton 氧化深度处理石化废水厂二级出水研究	王翼, 吴昌永, 周岳溪, 张雪, 董波, 陈学民 (2597)
制革废水和印染废水的综合毒性评估及鉴别	黄利, 陈文艳, 万玉山, 郑国娟, 赵远, 蔡强 (2604)
不同溶解氧条件下 A/O 系统的除碳脱氮效果和细菌群落结构变化	陈燕, 刘国华, 范强, 汪俊妍, 齐鲁, 王洪臣 (2610)
利用主要缺氧段 ORP 作为连续流单污泥污水脱氮除磷系统调控参数	王晓玲, 宋铁红, 殷宝勇, 李静文, 李紫棋, 余勇 (2617)
连续流态下以实际低基质生活污水培养好氧颗粒污泥及其脱氮性能	姚力, 信欣, 鲁航, 朱辽东, 谢思建 (2626)
广东清远电子垃圾拆解区农田土壤重金属污染评价	张金莲, 丁疆峰, 卢桂宇, 党志, 易筱筠 (2633)
山东省临沂市土壤有机氯农药滴滴涕残留量与空间分布特征	喻超, 王增辉, 王红晋, 代杰瑞, 庞绪贵, 赵西强, 刘华峰 (2641)
金华市萤石矿区土壤氟污染评价	叶群峰, 周小玲 (2648)
土壤碳收支对秸秆与秸秆生物炭还田的响应及其机制	侯亚红, 王磊, 付小花, 乐毅全 (2655)
黄土区果园和刺槐林生态系统土壤有机碳变化及影响因素	李如剑, 王蕊, 李娜娜, 姜继韶, 张彦军, 王志齐, 刘庆芳, 吴得峰, 郭胜利 (2662)
缙云山土地利用方式对土壤轻组及颗粒态有机碳氮的影响	雷利国, 江长胜, 郝庆菊 (2669)
塔里木河上游典型绿洲土壤酶活性与环境因子相关分析	朱美玲, 贡璐, 张龙龙 (2678)
不同部位玉米秸秆对两种质地黑土 CO ₂ 排放和微生物量的影响	刘四义, 梁爱珍, 杨学明, 张晓平, 贾淑霞, 陈学文, 张士秀, 孙冰洁, 陈升龙 (2686)
1株对叔丁基邻苯二酚降解菌的筛选鉴定及响应面法优化其降解	贺强礼, 刘文斌, 杨海君, 彭晓霞, 关向杰, 黄水娥 (2695)
耐高浓度沼液产油小球藻的分离鉴定与特征分析	杨圆, 王文国, 马丹炜, 汤晓玉, 胡启春 (2707)
水介质中 C ₆₀ 纳米晶体颗粒与 Cu ²⁺ 对小鼠腹腔巨噬细胞的复合毒性研究	于叶, 卞为林, 张慧敏, 张波, 何义亮 (2713)
地表水体中同时分析 18 种糖皮质激素方法的建立	郭文景, 常红, 孙德智, 吴丰昌, 杨浩 (2719)
《环境科学》征订启事 (2553) 《环境科学》征稿简则 (2640) 信息 (2546, 2609, 2616, 2647)	

复合填料生物渗滤系统处理城市雨水径流的研究

王晓璐¹, 左剑恶^{1*}, 千里里¹, 邢薇², 缪恒峰³, 阮文权³

(1. 清华大学环境学院, 环境模拟与污染控制国家重点联合实验室, 北京 100084; 2. 北京交通大学土木建筑工程学院, 北京 100044; 3. 江南大学环境与土木工程学院, 无锡 214122)

摘要: 为有效控制无锡市道路雨水径流面源污染, 根据当地径流污染的特点, 设计了能去除多种道路径流污染物的复合填料生物渗滤系统, 进行污染雨水净化效果的试验研究。结果表明, 系统对道路雨水中的悬浮性颗粒物(SS)、耗氧有机污染物(COD)和氮磷污染物均具有明显的去除效果; 所有类型的复合填料生物渗滤系统对于 SS 均具有较高的去除率, 能够达到 90% 以上; 以活性炭填料为主的渗滤系统(GAC)对于 COD 和磷类污染物的去除效果相对较优, 以沸石填料为主的渗滤系统(ZFM)对氮类污染物的去除效果相对较优。木屑在系统中的添加能够有效提高系统对氮类污染物的去除率; 在系统中混合分散放置木屑的装填方式相较于集中分层的装置方式能够减少木屑溶出物的释放, 可使系统达到更高的 COD 和氮磷污染物的去除效率。

关键词: 雨水径流; 生物渗滤系统; 沸石; 活性炭; 硝态氮

中图分类号: X52; TU991. 27 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2015)07-2518-07 DOI: 10. 13227/j. hjkx. 2015. 07. 026

Treatment of Urban Runoff Pollutants by a Multilayer Biofiltration System

WANG Xiao-lu¹, ZUO Jian-e^{1*}, GAN Li-li¹, XING Wei², MIAO Heng-feng³, RUAN Wen-quan³

(1. State Key Joint Laboratory of Environment Simulation and Pollution Control, School of Environment, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. School of Civil Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China; 3. School of Environmental and Civil Engineering, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: In order to control the non-point source pollution from road runoff in Wuxi City effectively, a multilayer biofiltration system was designed to remove a variety of pollutants according to the characteristics of road runoff in Wuxi, and the experimental research was carried out to study the effect on rainwater pollution purification. The results show that the system has a good performance on removing suspended solids (SS), organic pollutant (COD), nitrogen and phosphorus; all types of multilayer biofiltration systems have a high removal rate for SS, which can reach 90%. The system with activated carbon (GAC) has higher removal rates for COD and phosphorus. The system with zeolite (ZFM) has a relatively better removal efficiency for nitrogen. The addition of wood chips in the system can significantly improve the system efficiency for nitrogen removal. Between the two configurations of layered and distributed wood chips, configurations of distributed wood chips reach higher COD, phosphorus and nitrogen pollutants removal efficiencies since they can reduce the release of wood chips dissolution.

Key words: runoff; biofiltration system; zeolite; activated carbon; nitrate nitrogen

近年来随着我国城市的快速发展, 城市下垫面不透水面积的增加与各类污染物的排放使城市降雨径流的水量 and 水质发生了巨大变化。降雨径流冲刷城市地面, 携带着有机物和氮、磷等污染物经排水管网进入受纳水体后, 会造成水体污染等问题^[1]。我国城市降雨径流中污染物浓度高, 成分复杂^[2~4], 但在对其进行适当处理以削减污染负荷方面, 我国尚处在研究和探索阶段^[5]。

为应对城市降雨径流造成的城市内涝以及污染问题, 国际上提出了一些先进的理念与技术^[6]。生物渗滤技术(biofiltration)以其形式多样、建造简便等特点, 得到了越来越多的关注和应用^[7]。近年来, 研究者主要把目光集中在生物渗滤系统的植物类型、填料高度等方面^[8~10], 但对生物渗滤系统填料的选择上所进行的研究较少, 对某些雨水径流中较

高浓度的总氮去除效率较低^[11~13]。因此, 本研究根据无锡地区城市道路雨水径流污染的特点, 选取不同复合材料作为渗滤填料, 考察复合填料生物渗滤系统对雨水径流中多种污染物的去除效果, 以期雨水径流生物渗滤系统的设计和实际应用提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验装置与结构

复合填料系统结构如图 1, 渗滤柱体采用 PE 给

收稿日期: 2014-11-19; 修订日期: 2015-03-05

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2011ZX07301-002)

作者简介: 王晓璐(1989~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为城市雨水面源污染控制, E-mail: xiaolu_rae@163.com

* 通讯联系人, E-mail: jiane. zuo@tsinghua.edu.cn

水管加工, 每个填料柱内径为 100 mm, 壁厚为 5 mm, 高度为1 000 mm, 试验中共采用了 7 根同样的滤柱. 除作为对照的系统 (Soil) 仅由土壤和承托层组成, 其余每根渗滤柱由上至下分别为种植层、碎铁屑层、填料层、原状土层和承托层, 其中高度为 500 mm 的填料层内材料均不相同, 系统填料层详细配置见表 1. 每个填料柱的底部均设置一个采样孔用于采样.

1.2 试验材料

针对径流特征污染物, 选择了 5 种渗滤材料: 土壤、沸石、活性炭、碎铁屑和碎木屑. 试验用土采自无锡市滨湖区, 试验用的沸石、活性炭、碎铁屑和碎木屑购自无锡当地, 沸石粒径为 0.5 ~ 5 mm, 活性炭粒径和木屑粒径均为 2 ~ 10 mm. 铁屑为工业废料, 其在 12 h 摇瓶试验中对硝态氮和磷酸根的去

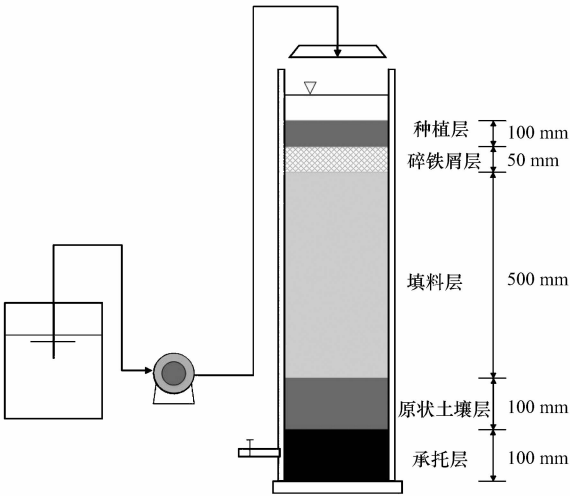


图 1 试验装置示意
Fig. 1 Diagram of the experimental apparatus

表 1 各生物渗滤装置填料层结构形式
Table 1 Pollutant concentrations (EMC) of urban road rainfall runoff in China

处理	填料层结构	系统简称
1	土壤 (500 mm)	Soil
2	沸石 (500 mm)	ZFM (zeolite filter media)
3	活性炭 (500 mm)	GAC (granular active carbon)
4	沸石 (400 mm) + 碎木屑 (100 mm)	ZFM-WL (zeolite filter media with wood chips layer)
5	活性炭 (400 mm) + 碎木屑 (100 mm)	GAC-WL (granular active carbon with wood chips layer)
6	沸石、碎木屑 4:1 混合 (500 mm)	ZFM-WM (zeolite filter media with wood chips-mixed)
7	活性炭、碎木屑 4:1 混合 (500 mm)	GAC-WM (granular active carbon with wood chips-mixed)

除效果如表 2 所示. 碎木屑为刨木废料, 是一种生物物质材料, 木屑含有 C、N、O 等多种元素, 其中 C 元素含量超过 50%^[14], 在 12 h 摇瓶试验中的溶出性质如表 3 所示.

表 2 铁屑对硝态氮和磷酸根的去除效果

Table 2 Removal efficiency of iron filings for nitrate and phosphate				
填料	目标污染物	污染物初始浓度 /mg·L ⁻¹	污染物最终浓度 /mg·L ⁻¹	单位去除量 /mg·g ⁻¹
铁屑 (5 g)	NO ₃ ⁻ -N	1.84	0.67	0.05
铁屑 (5 g)	PO ₄ ³⁻ -P	1.24	0.01	0.05

表 3 木屑的溶出性质

Table 3 Dissolution properties of wood chips				
填料	目标污染物	污染物初始浓度 /mg·L ⁻¹	污染物最终浓度 /mg·L ⁻¹	单位溶出量 /mg·g ⁻¹
木屑 (2 g)	COD	0	204.00	20.40
木屑 (2 g)	NH ₄ ⁺	0	0.15	0.02
木屑 (2 g)	DTP	0	14.45	1.45

1.3 试验用水及过程

为了保持进水水质在一个相对稳定的范围内, 试验初期采用自配径流模拟天然降雨进行进水, 后采集当地道路雨水径流进行验证试验. 无锡地区道路径流多次监测平均值如表 4, 当地雨水径流污染物浓度较高, 劣于地表水环境质量 V 类标准; 径流

中硝酸盐浓度较高, 对于总氮贡献大. 与国内近年来关于道路径流水质的一些研究相比 (表 4), 相较于北方地区, 无锡道路径流污染物浓度较低; 和江南、重庆等年均降雨量类似的地区其他研究相比, 污染物浓度差别较小. 参考相关报道中模拟径流的配制方案^[15], 结合无锡当地道路径流的监测情况对

浓度进行了改进,采用葡萄糖、氯化铵、硝酸钾、亚硝酸钠等化学试剂和路面沉积物配置,实际径流采自无锡市滨湖区某市政道路两侧,人工模拟径流配

置浓度与实际径流浓度见表 5。模拟径流浓度与江南地区报道的道路径流浓度相近,可以较好代表该地区的道路径流。

表 4 国内城市道路雨水径流污染物质量浓度值(EMC)

Table 4 Pollutants concentration (EMC) of urban road rainfall runoff in China

地点	道路类型	SS/mg·L ⁻¹	COD/mg·L ⁻¹	TP/mg·L ⁻¹	TN/mg·L ⁻¹	NH ₄ ⁺ /mg·L ⁻¹	NO ₃ ⁻ /mg·L ⁻¹	文献
无锡	道路	138	104	0.50	3.58	1.26	2.21	本研究
北京	环路干道	468	308	1.03	7.73	2.96	3.59	[16]
重庆	道路	564	123	0.72	3.35	1.26	1.07	[17]
上海	道路	— ¹⁾	113	0.46	—	1.23	—	[18]
南京	高速路	126	127	0.28	4.44	1.59	—	[19]
澳门	道路	309	198	—	8.75	—	—	[20]

1) “—”表示文献中没有相关数据

表 5 复合填料生物渗滤系统处理效果

Table 5 Concentrations of inflow and outflow of multilayer biofiltration systems

项目	进水											
	SS		COD		TP		DTP		NH ₄ ⁺ -N		NO ₃ ⁻ -N	
实际道路径流浓度/mg·L ⁻¹	222.7		60		1.11		0.31		0.18		1.93	
模拟径流浓度/mg·L ⁻¹	212.7 ± 18.5		107.8 ± 11.3		1.11 ± 0.16		0.55 ± 0.08		1.22 ± 0.11		2.29 ± 0.15	
生物渗滤装置编号	人工模拟径流											
	SS		COD		TP		DTP		NH ₄ ⁺ -N		NO ₃ ⁻ -N	
	出水浓度 /mg·L ⁻¹	去除率 /%	出水浓度 /mg·L ⁻¹	去除率 /%	出水浓度 /mg·L ⁻¹	去除率 /%	出水浓度 /mg·L ⁻¹	去除率 /%	出水浓度 /mg·L ⁻¹	去除率 /%	出水浓度 /mg·L ⁻¹	去除率 /%
Soil	10.3 ± 2.1	95.1	37.0 ± 5.0	65.7	0.09 ± 0.04	91.9	0.05 ± 0.04	91	0.20 ± 0.04	83.3	2.85 ± 0.60	-24.3
ZFM	9.7 ± 1.1	95.5	33.0 ± 9.2	69.4	0.15 ± 0.03	86.7	0.13 ± 0.06	77.20	0.13 ± 0.09	89.4	1.14 ± 0.17	50.2
GAC	13.3 ± 4.0	93.7	29.5 ± 9.7	72.6	0.04 ± 0.05	96.5	0.03 ± 0.05	91.30	0.39 ± 0.26	68.3	1.10 ± 0.11	52.1
ZFM-WL	14.0 ± 1.0	93.4	47.0 ± 22.4	56.4	0.18 ± 0.06	83.6	0.14 ± 0.01	74	0.58 ± 0.03	52.3	0.09 ± 0.02	99.2
GAC-WL	11.0 ± 2.0	94.8	50.4 ± 13.5	53.2	0.16 ± 0.02	85.6	0.13 ± 0.02	75.60	0.58 ± 0.06	52.9	0.04 ± 0.01	99.7
ZFM-WM	8.7 ± 2.1	95.9	48.9 ± 5.7	54.7	0.25 ± 0.04	77.5	0.18 ± 0.08	67.70	0.31 ± 0.07	74.3	0.31 ± 0.17	86.3
GAC-WM	10.7 ± 2.5	95.0	41.0 ± 3.2	61.9	0.31 ± 0.03	72.3	0.15 ± 0.05	72.30	0.34 ± 0.05	72.2	0.26 ± 0.19	88.6
生物渗滤装置编号	实际道路径流											
	SS		COD		TP		DTP		NH ₄ ⁺ -N		NO ₃ ⁻ -N	
	出水浓度 /mg·L ⁻¹	去除率 /%	出水浓度 /mg·L ⁻¹	去除率 /%	出水浓度 /mg·L ⁻¹	去除率 /%	出水浓度 /mg·L ⁻¹	去除率 /%	出水浓度 /mg·L ⁻¹	去除率 /%	出水浓度 /mg·L ⁻¹	去除率 /%
Soil	11	95.1	21.3	64.5	0.09	94.6	0.05	82.6	0.15	20.5	1.94	-0.7
ZFM	6	97.3	9.3	84.5	0.15	86.8	0.14	54	0.04	78.9	0.98	49.3
GAC	12	94.6	21.8	63.6	0.04	98.9	0.01	86.5	0.1	47.6	0.94	51.4
ZFM-WL	11	95.1	36.4	39.3	0.18	83.9	0.12	62.4	0.11	43.2	0.01	99.5
GAC-WL	11	95.1	32.6	45.6	0.16	89.8	0.1	68.2	0.09	49.2	0.01	99.8
ZFM-WM	14	93.7	21.5	64.1	0.25	82.8	0.19	38.9	0.07	62.7	0.09	95.5
GAC-WM	9	96	18.7	68.8	0.31	84.1	0.16	47.9	0.08	55.7	0.04	97.8

试验过程中,采取 3 d 为一个周期的进水方式,进水 1 d,干期 2 d,每 4 个周期取系统出水混合样进行监测,试验共进行了 60 d。由式(1)计算得到每次试验每个生物渗滤装置的进水量约为 3.0 L。每次进水持续时间为 1 h,系统内停留时间约为 8 h。

$$Q = 0.001\psi qF$$

(1)

式中, Q 是雨水设计流量 ($L\cdot d^{-1}$); ψ 是径流系数,此处采取沥青路面径流系数取值 0.90^[21]; q 是单位

面积降雨流量 ($mm\cdot d^{-1}$),根据无锡 2008 ~ 2012 年连续 5 a 年均降雨量均值 1 147.6 mm、无锡 2008 ~ 2012 年连续 5 a 年降雨日均值 129.6 d^[22],得到降雨日降雨量为 8.85 $mm\cdot d^{-1}$ 。 F 是径流面积 (mm^2),渗滤装置表面积 7 850 mm^2 ,每次试验的雨水径流接纳面积按其表面积的 50 倍计算^[23]。

1.4 检测项目与方法

试验检测水质指标包括 SS、TP、NO₃⁻-N、

NH_4^+-N 、 COD 等. SS 采用重量法, TP 采用钼锑抗分光光度法, NH_4^+-N 采用纳氏试剂法, NO_3^--N 采用紫外分光光度法, 由于实际径流监测时发现 TN 浓度与 NH_4^+-N 和 NO_3^--N 浓度之和相近, 因此本研究中用两者之和来表示 TN . COD 使用美国哈希 DR2800 便携式分光光度计和哈希试剂, 采用消解-比色法进行.

2 结果与分析

2.1 对 SS 与 COD 的去除效果

在运行初期, 各渗滤系统对 SS 的去除并不稳定, 去除率波动较大, 在第 3 个周期之后, 去除率均达到了一个平稳且高效的状态. 不同填料层系统对 SS 的去除效果如表 5 所示. 试验结果表明, 各个系统对人工模拟径流和实际道路径流中的 SS 均具有较好的处理效果, 平均去除率均在 90% 以上, 不同填料、不同结构的渗滤系统在对于 SS 的去除上差异性不大.

对系统出水 COD 进行监测发现, 不同类型复合渗滤系统对 COD 的去除效果差异性较大, 从表 5 可以看出, 在实际道路径流进水条件下, 系统对 COD 的去除率最大可达到 84% (ZFM), 最小仅为 39% (ZFM-WL). 相比加入了木屑的渗滤系统, 只有单一填料层的系统 Soil、ZFM 和 GAC 对 COD 的去除效果较好.

2.2 对 TP 的去除效果

在渗滤系统中, 颗粒态总磷可以通过填料的过滤和吸附作用被去除, 溶解态总磷则可以通过和上层碎铁屑反应而被去除. 由表 5 可以看出, 所有系统对总磷均能达到 70% 以上去除率, 其中平均去除率最高为 GAC, 能够达到 96%. 由于碎铁屑层的加入, 系统对溶解态总磷也表现出了较高的去除率, 对于实际道路径流, 最高去除率可达到 86% (GAC). 与加入碎木屑的系统相比, 没有加入碎木屑的系统 Soil、ZFM 和 GAC 有更高的总磷和溶解态总磷去除率.

2.3 对 TN 的去除效果

各个系统对雨水径流中 TN 的去除率有较大差异, 由图 2 可以看出系统 ZFM-WL 和 GAC-WL 对于雨水径流中的 TN 具有相对较高的去除率, 两者的去除率能达到 90% 左右. ZFM-WM 和 GAC-WM 对 TN 的平均去除率相对略低, 能达到 80% 左右. ZFM 和 GAC 的去除率仅能达到 70% 左右, Soil 的去除率最低, 仅为 46%.

对比 7 种不同类型的渗滤系统, Soil 和 ZFM 对

NH_4^+-N 的去除效果较好, 平均去除率能达到 80% 以上; 其次是 ZFM-WM、GAC-WM 以及 GAC, 平均去除率能达到 70% 左右, ZFM-WL 和 GAC-WL 对 NH_4^+-N 的去除效果最差, 去除率为 50% 左右. 所有的系统在处理实际道路雨水时, 相较于人工模拟径流对于氨氮的去除率有一个下降, 这可能是当地雨水径流中, NH_4^+-N 浓度较小导致的^[24].

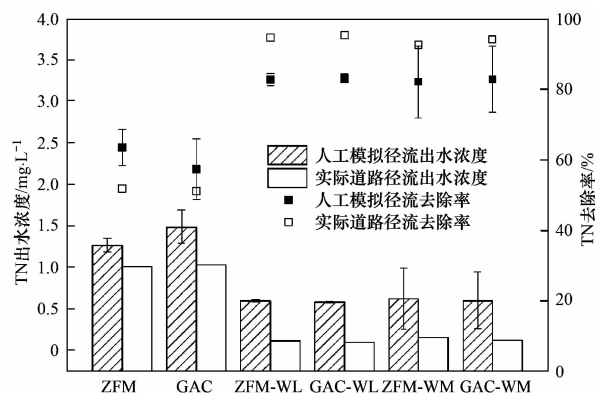


图 2 渗滤系统出水中 TN 的平均浓度和去除率

Fig. 2 Mean concentration and removal for TN in effluent

不同类型复合渗滤系统对 NO_3^--N 的去除效果差异性较大, ZFM-WL、GAC-WL、ZFM-WM 和 GAC-WM 对 NO_3^--N 的平均去除率均达到了 95% 以上, 而 ZFM 和 GAC 的平均去除率仅为 50% 左右, Soil 系统中, 当地土壤由于在自然环境中经多次含较高浓度 NO_3^- 的径流冲刷而有所积累, 对 NO_3^--N 不但没有去除效果, 甚至还有溶出. 在对实际雨水径流 NO_3^--N 处理时, 各个系统表现出了和人工模拟径流相近的去除率.

3 讨论

3.1 填料种类

试验所选取的填料均具有不同特性, 除对污染物进行物理拦截外, 土壤可以通过生物和非生物共同作用去除对耗氧有机污染物^[25]; 沸石和活性炭作为良好的吸附剂, 对雨水中阳离子如 NH_4^+ 等均具有较好的去除能力^[26]; 工业废弃物铁屑为铁-碳合金, 可以通过氧化还原和电化学作用等多种途径净化污染物, Reddy 等^[27]报道了铁屑对硝态氮去除潜力, 能够将硝态氮还原成氨氮, 另外铁屑通过电化学作用释放出的铁离子与磷酸根离子在适宜条件下会形成铁盐沉淀, 从而去除磷类污染物.

系统 Soil 主要通过土壤过滤、吸附以及微生物降解的作用去除污染物; ZFM 和 GAC 可以通过过滤、吸附、为生物降解以及铁屑的还原作用多种途

径去除污染物,这3个系统对SS、COD和TP表现出了较为相近的去除效率.但在对于氮类污染物的去除上表现出了较大差异.由图3分析,Soil系统中天然土壤虽然可以就地取材,建设成本较低,但其对于氮类污染物的去除率均较低.ZFM和GAC系统中,上层铁屑还原硝态氮,下层沸石和活性炭吸附氨氮和有机氮,两者对于氮类污染物去除效果相近.但沸石填料对氨氮具有相对较高的去除能力,另外考虑到活性炭较高的价格,沸石可能是复合填料生物系统中更优的填料.

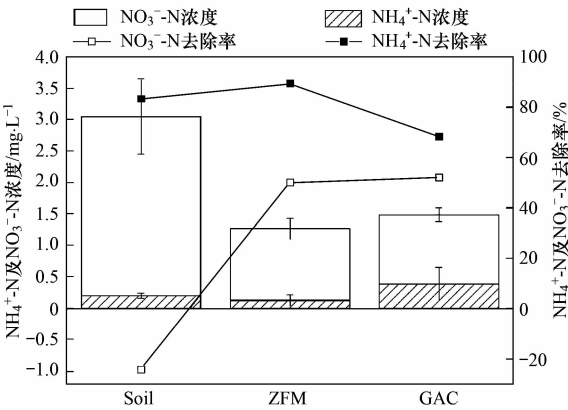


图3 不同填料渗滤系统出水中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的平均浓度和去除率

Fig. 3 Mean concentrations and removal for $\text{NH}_4^+\text{-N}$ and $\text{NO}_3^-\text{-N}$ relative to filter type

3.2 碳源及其添加方式

木屑作为缓释碳源添加,以期能够提高系统的反硝化能力.由于木屑本身的溶出性质,添加木屑的系统对COD、TP和 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的去除率有所降低,作为反硝化碳源,对 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的去除率有较大提高.系

统出水中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 与 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 比例见图4,在实际雨水径流中,硝态氮对总氮贡献较大,因此添加碎木屑能够得到更高的总氮去除效果. NH_4^+ 作为阳离子,在渗滤系统中的去除方式有吸附和转化^[28], NO_3^- 为阴离子,不能有效地被填料吸附,在雨水花园中主要通过微生物的反硝化作用得到去除^[29]. 在填有碎木屑的复合渗滤系统中,通过上层铁屑层时能够通过化学还原作用去除,剩余的 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 通过生物作用去除:径流最先通过表层的土壤,在这个过程中径流把土壤中的微生物带到了渗滤系统下层;在位于系统底部,处于缺氧状态的木屑层中,雨水径流中的硝态氮在木屑释放出的COD和径流带来的微生物的作用下,通过微生物的反硝化作用得到了去除,而系统干湿交替的状态也有利于这一生物脱氮反应能力的提高. 从图5中可以看出系统在长期运行状态下,对于硝态氮的去除能力日趋稳定,去除率经历了一个由低到高的过程.

碳源添加方式对系统的去除效率也有一定影响,混合放置的优势则在于对污染物能够更全面地去除:碎木屑中氨氮、总磷和COD的释放更加分散;另一方面碎木屑和吸附性填料混合在一起,处于碎木屑周围的填料具有强吸附性,可以对碎木屑所释放出的污染物及时吸附,有效阻止碎木屑溶出的污染物随出水排出系统.而在对硝态氮的去除上,分层集中填放的方式要优于混合分散填放的方式.

综合从污染物去除高效性和装置经济性的角度上来看,在这7类复合填料系统中,配有分散放置木屑的沸石填料是更好的选择.

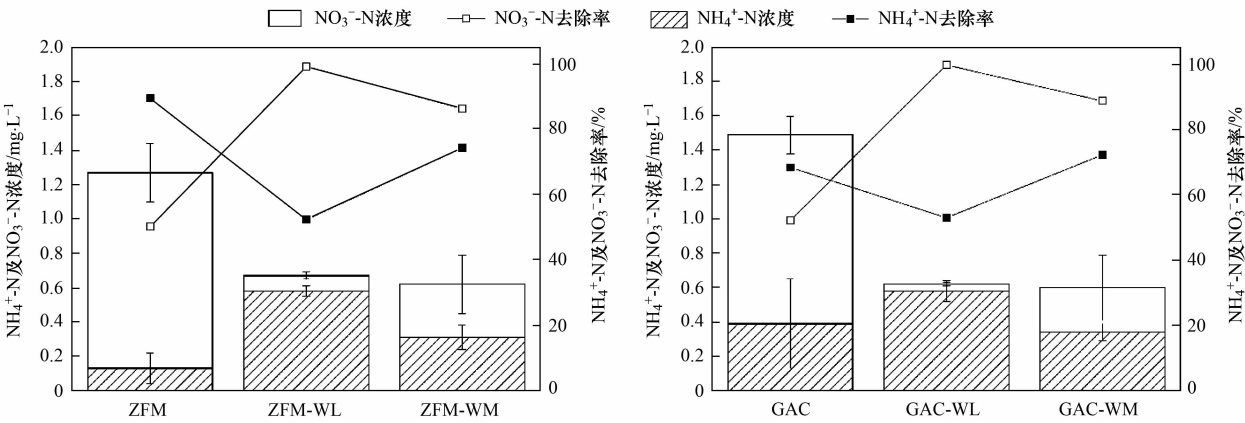


图4 不同木屑填放情况下渗滤系统出水中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的平均浓度和去除率

Fig. 4 Mean concentrations and removal efficiencies for $\text{NH}_4^+\text{-N}$ and $\text{NO}_3^-\text{-N}$ relative to configure of wood chips

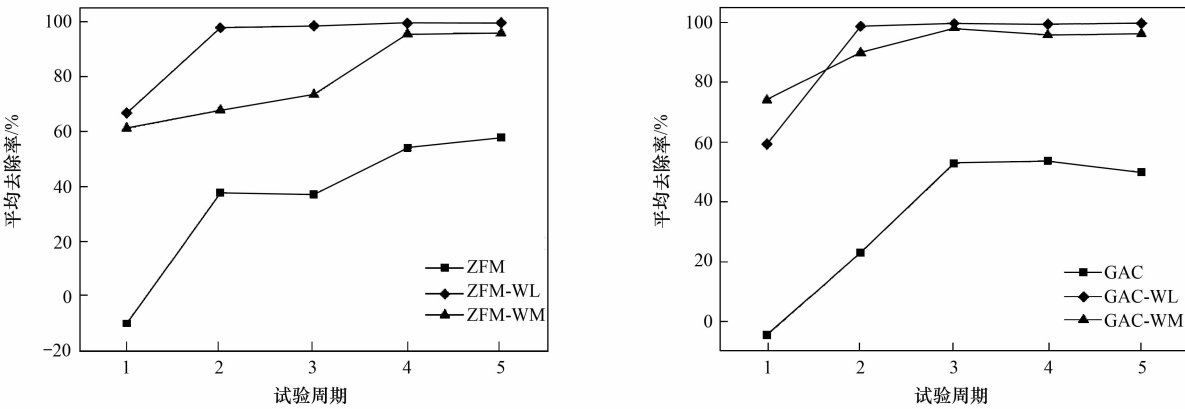


图5 不同木屑堆放情况下渗滤系统周期 NO_3^- -N的去除率

Fig. 5 Mean removal efficiencies over time for NO_3^- -N relative to configure of wood chips

4 结论

(1)复合填料生物渗滤系统对道路雨水径流中的氮、磷及有机污染物均有明显去除效果,不同填料的系统对有机污染物和磷类污染物去除效果的差异较小,但对硝酸盐和氨氮去除效果差异较大,其中沸石和活性炭的效果较好。

(2)碎木屑的添加使得系统对雨水径流中有机污染物和磷的去除效率略有降低,但能显著提高对硝态氮的去除。

(3)在系统中混合分散放置木屑的装填方式相较于集中分层的装置方式能够减少木屑溶出物的释放,可使系统达到更高的 COD 和氮磷污染物的去除效率。

参考文献:

[1] Liu J, Sample D J, Bell C, *et al.* Review and research needs of bioretention used for the treatment of urban stormwater [J]. Water, 2014, **6** (4) : 1069-1099.

[2] 车伍, 刘燕, 李俊奇. 国内外城市雨水水质及污染控制 [J]. 给水排水, 2003, **29** (10) : 38-42.

[3] 董雯, 李怀恩, 李家科. 城市雨水径流水质演变过程监测与分析 [J]. 环境科学, 2013, **34** (2) : 561-569.

[4] 王骏, 毕春娟, 陈振楼, 等. 温州城市降雨径流中 BOD_5 和 COD 污染特征及其初始冲刷效应 [J]. 环境科学, 2013, **34** (5) : 1735-1744.

[5] 康爱红, 李涛, 丁泽民, 等. 我国道路雨水径流污染特性及控制措施进展 [J]. 内蒙古农业大学学报 (自然科学版), 2013, **34** (6) : 188-192.

[6] Jia H F, Yao H R, Yu S L. Advances in LID BMPs research and practice for urban runoff control in China [J]. Frontiers of Environmental Science & Engineering, 2013, **7** (5) : 709-720.

[7] Roy-Poirier A, Champagne P, Filion Y. Review of bioretention system research and design: past, present, and future [J]. Journal of Environmental Engineering, 2010, **136** (9) : 878-

889.

[8] Read J, Wevill T, Fletcher T, *et al.* Variation among plant species in pollutant removal from stormwater in biofiltration systems [J]. Water Research, 2008, **42** (4-5) : 893-902.

[9] Barrett M E, Limouzin M, Lawler D F. Effects of media and plant selection on biofiltration performance [J]. Journal of Environmental Engineering, 2012, **139** (4) : 462-470.

[10] Read J, Fletcher T D, Wevill T, *et al.* Plant Traits that enhance pollutant removal from stormwater in biofiltration systems [J]. International Journal of Phytoremediation, 2009, **12** (1) : 34-53.

[11] Hou L Z, Liu F, Feng C P, *et al.* Efficiencies of multilayer infiltration systems for the removal of urban runoff pollutants [J]. Water Science and Technology, 2013, **67** (8) : 1851-1858.

[12] Passeur E, Hunt W F, Line D E, *et al.* Field study of the ability of two grassed bioretention cells to reduce storm-water runoff pollution [J]. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 2009, **135** (4) : 505-510.

[13] Hsieh C H, Davis A P, Needelman B A. Nitrogen removal from urban stormwater runoff through layered bioretention columns [J]. Water Environment Research, 2007, **79** (12) : 2404-2411.

[14] 米翠丽, 樊孝华, 魏刚, 等. 热解温度对生物质和煤成焦特性的影响 [J]. 生物质化学工程, 2014, (6) : 36-43.

[15] Davis A P, Shokouhian M, Sharma H, *et al.* Water quality improvement through bioretention media: Nitrogen and phosphorus removal [J]. Water Environment Research, 2006, **78** (3) : 284-293.

[16] 侯培强, 任玉芬, 王效科, 等. 北京市城市降雨径流水质评价研究 [J]. 环境科学, 2012, **33** (1) : 71-75.

[17] 张千千, 王效科, 郝丽岭, 等. 重庆市路面降雨径流特征及污染源解析 [J]. 环境科学, 2012, **33** (1) : 76-82.

[18] 程江, 杨凯, 黄民生, 等. 下凹式绿地对城市降雨径流污染的削减效应 [J]. 中国环境科学, 2009, **29** (6) : 611-616.

[19] 李贺, 张雪, 高海鹰, 等. 高速公路路面雨水径流污染特征分析 [J]. 中国环境科学, 2008, **28** (11) : 1037-1041.

[20] 黄金良, 杜鹏飞, 欧志丹, 等. 澳门城市小流域地表径流污染特征分析[J]. 环境科学, 2006, **27**(9): 1753-1759.

[21] GB 50014-2006, 室外排水设计规范[S].

[22] 无锡市统计局. 无锡统计年鉴——2013[M]. 北京: 中国统计出版社, 2013. 10-11.

[23] Hatt B E, Fletcher T D, Deletic A. Hydraulic and pollutant removal performance of fine media stormwater filtration systems [J]. Environmental Science & Technology, 2008, **42**(7): 2535-2541.

[24] Bratieres K, Fletcher T, Deletic A, *et al.* Nutrient and sediment removal by stormwater biofilters; A large-scale design optimisation study [J]. Water Research, 2008, **42**(14): 3930-3940.

[25] 田光明. 人工土快滤床对耗氧有机污染物的去除机制[J]. 土壤学报, 2002, **39**(1): 127-134.

[26] Halim A A, Aziz H A, Johari M A M, *et al.* Comparison study of ammonia and COD adsorption on zeolite, activated carbon and composite materials in landfill leachate treatment [J]. Desalination, 2010, **262**(1-3): 31-35.

[27] Reddy K R, Xie T, Dastgheibi S. Adsorption of mixtures of nutrients and heavy metals in simulated urban stormwater by different filter materials [J]. Journal of Environmental Science and Health, Part A: Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering, 2014, **49**(5): 524-539.

[28] Grebel J E, Mohanty S K, Torkelson A A, *et al.* Engineered infiltration systems for urban stormwater reclamation [J]. Environmental Engineering Science, 2013, **30**(8): 437-454.

[29] Li L, Davis A P. Urban Stormwater runoff nitrogen composition and fate in bioretention systems [J]. Environmental Science & Technology, 2014, **48**(6): 3403-3410.

CONTENTS

Potential Source Contribution Analysis of the Particulate Matters in Shanghai During the Heavy Haze Episode in Eastern and Middle China in December, 2013	Li Li, CAI Jun-lin, ZHOU Min (2327)
Composition and Regional Characteristics of Atmosphere Aerosol and Its Water Soluble Ions over the Yangtze River Delta Region in a Winter Haze Period	WANG Man-ting, ZHU Bin, WANG Hong-lei, <i>et al.</i> (2337)
Chemical Species of PM _{2.5} in the Urban Area of Beijing	LIU Bao-xian, YANG Dong-yan, ZHANG Da-wei, <i>et al.</i> (2346)
Numerical Study on the Characteristics of Regional Transport of PM _{2.5} in Shandong Province During Spring in 2014	JIA Hai-ying, CHENG Nian-liang, HE You-jiang, <i>et al.</i> (2353)
Characteristics of Water-Soluble Inorganic Ions in PM _{2.5} Emitted from Coal-Fired Power Plants	MA Zi-zhen, LI Zhen, JIANG Jing-kun, <i>et al.</i> (2361)
Direct Observation on the Temporal and Spatial Patterns of the CO ₂ Concentration in the Atmospheric of Nanjing Urban Canyon in Summer	GAO Yun-qiu, LIU Shou-dong, HU Ning, <i>et al.</i> (2367)
Emission Factors of Vehicle Exhaust in Beijing	FAN Shou-bin, TIAN Ling-di, ZHANG Dong-xu, <i>et al.</i> (2374)
Adsorption Capacity of the Air Particulate Matter in Urban Landscape Plants in Different Polluted Regions of Beijing	ZHANG Wei-kang, WANG Bing, NIU Xiang (2381)
Major Air Pollutant Emissions of Coal-Fired Power Plant in Yangtze River Delta	DING Qing-qing, WEI Wei, SHEN Qun, <i>et al.</i> (2389)
Estimation of N ₂ O Emission from Anhui Croplands by Using a Regional Nitrogen Cycling Model IAP-N	HAN Yun-fang, HAN Sheng-hui, YAN Ping (2395)
Evaluation on the Impacts of Different Background Determination Methods on CO ₂ Sources and Sinks Estimation and Seasonal Variations	ZHANG Fang, ZHOU Ling-xi, WANG Yu-zhao (2405)
Measured and Predicted Aquatic Life Criteria and Risk Assessment of Chromium (VI) in Liaohe River	WANG Xiao-nan, YAN Zhen-guang, LIU Zheng-tao, <i>et al.</i> (2414)
Pollution and Potential Ecology Risk Evaluation of Heavy Metals in River Water, Top Sediments on Bed and Soils Along Banks of Bortala River, Northwest China	ZHANG Zhao-yong, Jilili Abuduwalili, JIANG Feng-qing (2422)
Influencing Factors for Hydrochemistry and $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ of Karst Springs	ZHAO Rui-yi, LÜ Xian-fu, LIU Zi-qi, <i>et al.</i> (2430)
Hydrochemical Characteristics and the Dissolved Inorganic Carbon Flux in Liuzhou Section of Liujiang Basin	YUAN Ya-qiong, HE Shi-yi, YU Shi, <i>et al.</i> (2437)
Characteristics of Total Nitrogen and Total Phosphorus Pollution and Eutrophication Assessment of Secondary River in Urban Chongqing	QING Xu-yao, REN Yu-fen, LÜ Zhi-qiang, <i>et al.</i> (2446)
Static Migration and Release of Dibutyl-Phthalate in the Fluctuating Zone of Three Gorges Reservoir	WANG Fa, WANG Qiang, MU Zhi-jian, <i>et al.</i> (2453)
Effect of Drought and Subsequent Re-wetting Cycles on Transferable Nitrogen and Its Form Distribution in the Sediment of Water Level Fluctuating Zone in the Tributary of Three Gorge Reservoir Areas	LIN Jun-jie, ZHANG Shuai, YANG Zhen-yu, <i>et al.</i> (2459)
Distribution of Chlorophyll-a and Eutrophication State in Tianchi Lake of Tianshan Mountains in Summer	WANG Bin, MA Jian, WANG Yin-ya, <i>et al.</i> (2465)
Vertical Distribution Characteristics and Analysis in Sediments of Xidaihai Lake	DUAN Mu-chun, XIAO Hai-feng, ZANG Shu-ying (2472)
Phytoplankton Community Structure and Water Quality Assessment in Jialing River After the Impoundment of Caojie Reservoir	YANG Min, ZHANG Sheng, LIU Shuo-ru (2480)
Analysis of Prokaryotic Community Structure in River Waters of the Ningbo Sanjiang Mouth	HU An-yi, LI Jiang-wei, YANG Xiao-yong, <i>et al.</i> (2487)
Effects of Perfluoroalkyl Substances on the Microbial Community Structure in Surface Sediments of Typical River, China	SUN Ya-jun, WANG Tie-yu, PENG Xia-wei, <i>et al.</i> (2496)
Coupling Effects of Decomposed <i>Potamogeton crispus</i> and Growing <i>Ceratophyllum demersum</i> on Water Quality and Plant Growth	MA Yue, WANG Guo-xiang, CAO Xun, <i>et al.</i> (2504)
Bioretention Media Screening for the Removal of Phosphorus in Urban Stormwater	LI Li-qing, GONG Yan-fang, YAN Zi-qin, <i>et al.</i> (2511)
Treatment of Urban Runoff Pollutants by a Multilayer Biofiltration System	WANG Xiao-lu, ZUO Jian-e, GAN Li-li, <i>et al.</i> (2518)
Effect of Three Typical Disinfection Byproducts on Bacterial Antibiotic Resistance	LÜ Lu, ZHANG Meng-lu, WANG Chun-ming, <i>et al.</i> (2525)
Laboratory Investigation of DNAPL Migration Behavior and Distribution at Varying Flow Velocities Based on Light Transmission Method	GAO Yan-wei, ZHENG Fei, SHI Xiao-qing, <i>et al.</i> (2532)
Comparative Study of Benzotriazole Electrochemical Oxidation at Boron-doped Diamond and PbO ₂ Anodes	WU Juan-li, ZHANG Jia-wei, WANG Ting, <i>et al.</i> (2540)
Sorption of <i>o</i> -Phthalate onto Calcite in Open-System	LI Zhen-xuan, HUANG Li-dong, CHEN Yan-fang, <i>et al.</i> (2547)
Adsorption Behaviors of Lead on Multi-Walled Carbon Nanotube-Hydroxyapatite Composites	ZHANG Jin-li, LI Yu (2554)
Synthesis and Study on Adsorption Property of Congo Red Molecularly Imprinted Polymer Nanospheres	CHANG Zi-qiang, CHEN Fu-bin, ZHANG Yu, <i>et al.</i> (2564)
Simultaneous Removal of Cd(II) and Phenol by Titanium Dioxide-Titanate Nanotubes Composite Nanomaterial Synthesized Through Alkaline-Acid Hydrothermal Method	LEI Li, JIN Yin-jia, WANG Ting, <i>et al.</i> (2573)
Immobilization of Estrogen-degrading Bacteria to Remove the 17 β -estradiol and Diethylstilbestrol from Polluted Water and Cow Dung	LI Xin, LING Wan-ting, LIU Jing-xian, <i>et al.</i> (2581)
Optoelectronic PCB Wastewater Treatment by Partial Nitrification-ANAMMOX Integrative Reactor	YUAN Yan, LI Xiang, ZHOU Cheng, <i>et al.</i> (2591)
Treatment of Petrochemical Treatment Plant Secondary Effluent by Fenton Oxidation	WANG Yi, WU Chang-yong, ZHOU Yue-xi, <i>et al.</i> (2597)
Comprehensive Toxicity Evaluation and Toxicity Identification Used in Tannery and Textile Wastewaters	HUANG Li, CHEN Wen-yan, WAN Yu-shan, <i>et al.</i> (2604)
Carbon/nitrogen Removal and Bacterial Community Structure Change in an A/O Activated Sludge System Under Different Dissolved Oxygen Conditions	CHEN Yan, LIU Guo-hua, FAN Qiang, <i>et al.</i> (2610)
ORP in the Main Anoxic Stage as the Control Parameter for Nitrogen and Phosphorus Removal in the Single Sludge System with a Continuous Flow	WANG Xiao-ling, SONG Tie-hong, YIN Bao-yong, <i>et al.</i> (2617)
Cultivation of Aerobic Granular Sludge with Real Low Concentration Domestic Wastewater and Its Denitrification Performances Under the Continuous Flow	YAO Li, XIN Xin, LU Hang, <i>et al.</i> (2626)
Heavy Metal Contamination in Farmland Soils at an E-waste Disassembling Site in Qingyuan, Guangdong, South China	ZHANG Jin-lian, DING Jiang-feng, LU Gui-ning, <i>et al.</i> (2633)
Residues and Spatial Distribution Characteristics of Organochlorine Pesticides DDTs in Soil of Linyi City, Shandong Province	YU Chao, WANG Zeng-hui, WANG Hong-jin, <i>et al.</i> (2641)
Assessment of Soil Fluorine Pollution in Jinhua Fluorite Ore Areas	YE Qun-feng, ZHOU Xiao-ling (2648)
Response of Straw and Straw Biochar Returning to Soil Carbon Budget and Its Mechanism	HOU Ya-hong, WANG Lei, FU Xiao-hua, <i>et al.</i> (2655)
Changes of Soil Organic Carbon and Its Influencing Factors of Apple Orchards and Black Locusts in the Small Watershed of Loess Plateau, China	LI Ru-jian, WANG Rui, LI Na-na, <i>et al.</i> (2662)
Impacts of Land Use Changes on Soil Light Fraction and Particulate Organic Carbon and Nitrogen in Jinyun Mountain	LEI Li-guo, JIANG Chang-sheng, HAO Qing-ju (2669)
Soil Enzyme Activities and Their Relationships to Environmental Factors in a Typical Oasis in the Upper Reaches of the Tarim River	ZHU Mei-ling, GONG Lu, ZHANG Long-long (2678)
Effects of Different Residue Part Inputs of Corn Straws on CO ₂ Efflux and Microbial Biomass in Clay Loam and Sandy Loam Black Soils	LIU Si-yi, LIANG Ai-zhen, YANG Xue-ming, <i>et al.</i> (2686)
Isolation, Identification of a <i>p</i> - <i>tert</i> -Butylcatechol-Degrading Strains and Optimization for Its Degradation by Response Surface Methodology	HE Qiang-li, LIU Wen-bin, YANG Hai-jun, <i>et al.</i> (2695)
Isolation, Identification and Characteristic Analysis of an Oil-producing <i>Chlorella</i> sp. Tolerant to High-strength Anaerobic Digestion Effluent	YANG Chuang, WANG Wen-guo, MA Dan-wei, <i>et al.</i> (2707)
Coupled Cytotoxicity of C ₆₀ Nano-Crystal Particle with Cu ²⁺ to the Mouse Peritoneal Microphage RAW 264. 7	YU Ye, BIAN Wei-lin, ZHANG Hui-min, <i>et al.</i> (2713)
Simultaneous Analysis of 18 Glucocorticoids in Surface Water	GUO Wen-jing, CHANG Hong, SUN De-zhi, <i>et al.</i> (2719)

《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 刘 毅 汤鸿霄 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)

2015 年 7 月 15 日 第 36 卷 第 7 期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 36 No. 7 Jul. 15, 2015

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 国内邮发代号: 2-821
CN 11-1895/X

国 内 定 价: 120.00 元 国外发行代号: M 205

国 内 外 公 开 发 行