

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第1期

Vol.34 No.1

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

长三角背景地区秋冬季节大气气态总汞含量特征研究	窦红颖,王书肖,王龙,张磊,郝吉明 (1)
厦门城区大气颗粒物 PM ₁₀ 中有机酸源谱特征分析	杨冰玉,黄星星,郑桢,刘碧莲,吴水平 (8)
兴隆大气气溶胶中水溶性无机离子分析	李杏茹,宋爱利,王英锋,孙颖,刘子锐,王跃思 (15)
气相组分对氨吸收同步脱除模拟烟气 SO ₂ 和 NO _x 的影响	王鸿,朱天乐,王美艳 (21)
麦秸全量还田下太湖地区两种典型水稻土稻季氨挥发特性比较	汪军,王德建,张刚,王远 (27)
单光子/光电子在线质谱实时分析聚氯乙烯热分解/燃烧产物	陈文东,侯可勇,陈平,李芳龙,赵无垠,崔华鹏,花磊,谢园园,李海洋 (34)
碱性活性炭表面特征及其吸附甲烷的研究	张梦竹,李琳,刘俊新,孙永军,李国滨 (39)
夏季黄渤海表层海水中二甲亚砜 (DMSO) 的浓度分布	王敏,张洪海,杨桂朋 (45)
2010年秋季长江口口外海域 CDOM 的三维荧光光谱-平行因子分析	闫丽红,陈学君,苏荣国,韩秀荣,张传松,石晓勇 (51)
基于集合均方根滤波的太湖叶绿素 a 浓度估算与预测	李渊,李云梅,王桥,张卓,郭飞,吕恒,毕坤,黄昌春,郭宇龙 (61)
基于 HJ1A-CCD 数据的高光谱影像重构研究	郭宇龙,李云梅,朱利,徐德强,李渊,檀静,周莉,刘阁 (69)
重庆雪玉洞岩溶地下河地球化学敏感性研究	徐尚全,杨平恒,殷建军,毛海红,王鹏,周小萍 (77)
区域点源和非点源磷入河量计算的二元统计模型	陈丁江,孙嗣畅,贾颖娜,陈佳勃,吕军 (84)
秦淮河典型河段总氮总磷时空变异特征	李跃飞,夏永秋,李晓波,熊正琴,颜晓元 (91)
湘江沉积物铜和汞质量基准的建立及其应用	蒋博峰,桑磊鑫,孙卫玲,郝伟,李丽,邓宝山 (98)
丹江口水库迁建区土壤重金属分布及污染评价	张雷,秦延文,郑丙辉,时瑶,韩超男 (108)
汾河水库周边土壤重金属含量与空间分布	李晋昌,张红,石伟 (116)
黄河下游引黄灌区地下水重金属分布及健康风险评估	张妍,李发东,欧阳竹,赵广帅,李静,柳强 (121)
胶州湾、套子湾及四十里湾表层沉积物中有机氯农药的含量和分布特征	刘艺凯,钟广财,唐建辉,潘晓辉,田崇国,陈颖军 (129)
基于干扰梯度的钦江流域底栖动物完整性指数候选参数筛选	卢东琪,张勇,蔡德所,刘朔孺,陈燕海,王备新 (137)
海洋细菌 <i>Marinobacter adhaerens</i> HY-3 分离鉴定及对中肋骨条藻的化感作用	王洪斌,陈文慧,李信书,李士虎,阎斌伦 (145)
水稻秸秆浸泡液对铜绿微囊藻生理特性的影响	苏文,孔繁翔,于洋,贾育红,张民 (150)
化感物质肉桂酸乙酯对蛋白核小球藻生长及生理特性的影响	高李李,郭沛涌,苏光明,魏燕芳 (156)
无负压供水模式下管网水力模拟与安全评价分析	王欢欢,刘书明,姜帅,孟凡琳,白璐 (163)
天然有机物的相对分子质量分布及亲疏水性对微滤膜组合工艺中膜污染的影响	胡孟柳,林洁,许光红,董秉直 (169)
不同基质条件下透性处理对脱硫弧菌硫酸盐还原活性的影响	徐慧伟,张旭,李立明,郑光洁,李广贺 (177)
基于零价铁的双金属体系对六氯苯还原脱氯研究	曾宪委,刘建国,聂小琴 (182)
负载型 TiO ₂ 光电催化降解孔雀石绿的动力学研究	张小娜,周少奇,周晓 (188)
污水厂微曝气系统工况下充氧性能测试与分析	吴媛媛,周小红,施汉昌,邱勇 (194)
微气泡及其产生方式对活性污泥混合液性质的影响	刘春,马锦,张磊,张静,张明,吴根 (198)
不同氮浓度冲击对颗粒污泥脱氮过程中 N ₂ O 产生量的影响	韩雪,高大文 (204)
模拟电镀污泥重金属浸出液对氧化亚铁硫杆菌活性的影响	谢鑫源,孙培德,楼菊青,郭茂新,马王钢 (209)
嗜麦芽窄食单胞菌对铜的吸附特性与离子交换	白洁琼,尹华,叶锦韶,彭辉,唐立楠,何宝燕,李跃鹏 (217)
阴离子表面活性剂改性水滑石吸附硝基苯的特性研究	夏燕,朱润良,陶奇,刘汉阳 (226)
活性氧化铝对水中磷的去除与回收研究	孟文娜,谢杰,吴德意,张振家,孔海南 (231)
北京城区可吸入颗粒物分布与呼吸系统疾病相关分析	杨维,赵文吉,官兆宁,赵文慧,唐涛 (237)
北京市市售鸡蛋和鸭蛋中全氟化合物的污染水平研究	齐彦杰,周珍,史亚利,孟昭福 (244)
北京市场常见淡水食用鱼体内农药残留水平调查及健康风险评估	于志勇,金芬,孙景芳,原盛广,郑蓓,张文婧,安伟,杨敏 (251)
多效应残差法 (MERA) 表征二甲亚砜-农药二元混合物毒性相互作用	霍向晨,刘树深,张晶,张瑾 (257)
利用 DGGE-菌落原位杂交法分离土壤中精喹禾灵降解菌	吕欣,彭霞薇,呼庆,马安周,江泽平,魏远 (263)
不同白腐真菌复配方式对产酶的影响	孟瑶,梁红,高大文 (271)
不同施肥措施对土壤活性有机碳的影响	张瑞,张贵龙,姬艳艳,李刚,常泓,杨殿林 (277)
垦殖对湿地土壤有机碳垂直分布及可溶性有机碳截留的影响	霍莉莉,邹元春,郭佳伟,吕宪国 (283)
黄河三角洲碱蓬湿地土壤有机碳及其组分分布特征	董洪芳,于君宝,管博 (288)
丘陵林地土壤酸化改良剂的集中施用-自然扩散修复技术研究	方熊,刘菊秀,尹光彩,赵亮,刘世忠,褚国伟,李义勇 (293)
重度滴滴涕污染土壤低温等离子体修复条件优化研究	陈海红,骆永明,滕应,刘五星,潘澄,李振高,贾玉娟 (302)
无定形 Fe(OH) ₃ 和 Fe ₃ O ₄ 共沉淀态 As 的化学提取	陈义萍,王少峰,黄永锋 (308)
铝和锰对外生菌根真菌生长、养分吸收及分泌作用的影响	李华,黄建国,袁玲 (315)
污泥和餐厨垃圾联合干法中温厌氧消化性能研究	段妮娜,董滨,李江华,戴翎翎,戴晓虎 (321)
高比表面生物质炭的制备、表征及吸附性能	李坤权,李焯,郑正,桑大志 (328)
基于情景分析的浙江沿海地区环境污染防治战略研究	田金平,陈吕军,杜鹏飞,钱易 (336)
微生物全细胞传感器在重金属生物可利用度监测中的研究进展	侯启会,马安周,庄绪亮,庄国强 (347)
2012 城市生态学术研讨会会议论文	
北京市城乡环境梯度下街尘中重金属污染特征	何小艳,顾培,李叙勇,赵洪涛 (357)
北京市道路灰尘中污染物含量沿城乡梯度、道路密度梯度的变化特征	唐荣莉,马克明,张育新,毛齐正 (364)
北京城市典型下垫面降雨径流污染初始冲刷效应分析	任玉芬,王效科,欧阳志云,侯培强 (373)
洋河流域张家口段河流水质演化及驱动因子分析	虎博,王铁宇,吕永龙,杜立宇,罗维 (379)
低碳交通电动汽车减排潜力及其影响因素分析	施晓清,李笑诺,杨建新 (385)
北京市社区生活垃圾分类收集实效调查及其长效管理机制研究	邓俊,徐琬莹,周传斌 (395)
人工湿地在应用中存在的问题及解决措施	黄锦楼,陈琴,许连煌 (401)
《环境科学》征订启事 (26)	《环境科学》征稿简则 (68)
信息 (76,144,301,400)	专辑征稿通知 (394)

北京城市典型下垫面降雨径流污染初始冲刷效应分析

任玉芬,王效科,欧阳志云,侯培强

(中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室,北京 100085)

摘要: 城市硬化地表的迅速增加使得降雨径流量增加,屋面和路面等下垫面上污染物的大量累积并随径流进入城市排水系统,对城市水环境造成威胁. 为了解径流污染过程和给径流污染控制提供科学依据,于2004~2006年选取典型屋面和路面对径流污染过程进行了监测和分析,计算了两种径流的次降雨平均浓度(EMC)水平,发现两类径流的COD和TN污染较为严重;屋面径流的化学需氧量(COD)、总氮(TN)分别超标(地表水环境质量标准GB 3838-2002 V类)3.64和4.80倍;路面径流的COD、TN分别超标3.73和1.07倍. 利用 $M(V)$ 曲线,判断径流量同径流污染负荷的关系,发现屋面径流污染物总悬浮颗粒物(TSS)、COD、TN和总磷(TP)发生了不同程度的初始冲刷现象;路面初始冲刷现象主要表现为TSS和TP,总体上初始冲刷效应不明显. 汇水面性质、降雨强度、污染物累积状况等都是影响屋面和路面径流污染物排放特征的重要影响因素.

关键词: 城市下垫面; 地表径流; 屋面; 路面; 初始冲刷效应

中图分类号: X52 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)01-0373-06

Analysis of First Flush Effect of Typical Underlying Surface Runoff in Beijing Urban City

REN Yu-fen, WANG Xiao-ke, OUYANG Zhi-yun, HOU Pei-qiang

(State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China)

Abstract: Rapid increase of the urban impervious underlying surfaces causes a great increase of urban runoff and the accumulation of pollutants on the roof and road surfaces brings many pollutants into the drainage system with the runoff, and it thus becomes a great threat to the urban water environment. To know the runoff pollution process and to build scientific basis for pollutant control, runoff processes from the roof and road surfaces were monitored and analyzed from 2004 to 2006, and the runoff EMC (Event Mean Concentration) was calculated. It was found that two types of runoff were seriously polluted by COD and TN. The COD and TN of roof runoff exceeded the fifth level of the surface water environmental quality standard (GB 3838-2002) by 3.64 and 4.80 times, respectively, and the COD and TN of road runoff exceeded by 3.73 and 1.07 times, respectively. $M(V)$ curve was used to determine the relation between runoff volume and runoff pollution load. Various degrees of the first flush phenomenon were found for TSS, COD, TN and TP in roof runoff. But this phenomenon occurred only for TSS and TP of the road runoff, and on the whole it was not obvious. Properties of the underlying surfaces, rainfall intensity, and pollutant accumulation are all important factors affecting the roof and road runoff pollutant emission characteristics.

Key words: urban underlying surfaces; surface runoff; roof; road; first flush effect

非点源污染是指溶解的或固体污染物从非特定的地点,通过径流过程而汇入受纳水体,引起的水体污染^[1,2]. 城市化的快速发展使得城市不透水面所占比例持续增加,导致城市非点源污染问题日益严峻,这已成为制约城市水环境质量的重要影响因素之一. 污染物到地表水体的转移过程经过污染物在干期的累积、降雨的冲刷以及污染向水体的输送这3个阶段^[3],针对暴雨冲刷阶段,研究城市暴雨径流污染过程的变化规律,分析主要下垫面的径流污染的冲刷特征,了解污染物随径流量的变化对城市地表径流污染物的控制和雨水资源有效利用具有重要意义.

1990年美国EPA公布的不同污染物对河流污染的贡献比中,城市雨水占到了9%^[4],1993年美国

EPA已经把城市地表径流列为导致全美河流和湖泊污染的第三大污染源^[5]. 据估计我国非点源负荷通常能够达到总负荷的35%~55%,甚至更高达65%~75%以上^[6~8]. Lee等^[9]对韩国Taejon和Chongju的9个不同类型径流进行监测,发现各污染物初始冲刷效应强度各异. Kim等^[10]对合流制城市集水区的研究表明降雨径流中TSS、TN、TP及COD均具有明显初始冲刷效应, Lee等^[11]对2个居民区和1个工业区的13个集水区进行的监测结果与Kim等^[10]一致. 暴雨径流及其污染特征与降雨

收稿日期: 2012-04-24; 修订日期: 2012-07-06

基金项目: 国家自然科学基金项目(41030744, 41230633, 40901265)

作者简介: 任玉芬(1978~),女,博士,助理研究员,主要研究方向为城市非点源污染, E-mail: yfren@rcees.ac.cn

量、最大降雨强度、降雨历时、雨前晴天数(ADWP)、区域气候、污染源特征、土地利用方式、排水系统等因素密切相关^[12~14]。近几年国内学者对城市降雨径流污染问题的研究也较为普遍,涉及了各种类型的下垫面及污染物^[15~18]。在漳河镇^[19]、武汉^[20~26]、澳门^[27]的研究结果均发现暴雨径流前期各污染物均有一定程度的初始冲刷效应发生。在前人研究的基础上,本研究选取特大城市北京典型屋面和路面等下垫面作为对象,进行径流污染初始冲刷效应的分析,探讨屋面和路面径流污染物的冲刷规律,以期在城市水环境污染防治和污染物控制提供依据。

1 材料与方法

1.1 样品采集

屋面径流的采集地点是中国科学院生态环境研究中心院内环化楼,屋面材料是沥青油毡,采样位置是屋面的雨水下水管道,主要污染物来源是屋面材料和屋面沉积物。降雨过程中每 10 min 采样一次,并记录流量数据,共收集 6 场降雨,得到径流 102 个样品。路面径流的采集地点是北京中国科学院生态环境研究中心院内停车场,路面材料是水泥混凝土,主要污染物来源是路面灰尘、垃圾、交通车辆及行人丢弃的废弃物等。采样位置是路面上的雨水下水井,利用 ISCO 采样器同时完成径流样品的采集和流量的测量,采样间隔为 10 min,路面径流共收集 6 场降雨,得到径流样品 144 个。样品采集后立即进行分析。

1.2 样品分析

径流监测指标包括 TSS、COD、TN、TP。样品分析方法为:COD(重铬酸钾法,GB 11894-89)、TN(过硫酸钾氧化-紫外分光光度法,GB 11894-89)、TP(钼酸铵分光光度法,GB 11893-89)、SS^[28](0.45 μm 滤膜过滤 103~105℃ 烘干称重,GB 11901-89)均为国家标准规定的样品测定方法。多次降雨各种污染物的平均浓度分别与地表水环境质量标准(GB 3838-2002)对比得出其污染水平。

1.3 数据分析

所有数据的整理与统计均采用 Excel 和 SPSS 软件。

1.4 次降雨平均浓度计算

任意一场降雨所引起地表径流中排放的某污染物的质量除以总的径流体积。

1.5 次降雨污染负荷计算方法

某种污染物的径流污染负荷可用地表径流量与该污染物浓度的乘积来表示。

1.6 地表径流初始冲刷效应判别方法

对每一降雨事件的每一种污染物,用累积污染负荷占整个降雨事件总污染负荷的比值除以累积径流占整个降雨事件总径流量的比值,建立量纲-累积曲线^[13,29],即 $M(V)$ 曲线,从这条曲线可以了解累积污染物与总的污染物之比相对于累积径流量与总的径流量之比的变化情况(图 1)。对角线表示整个降雨过程径流中污染物均衡迁移。当 $M(V)$ 曲线高于对角线且最大离散度 > 20 时,即发生了初始冲刷。通常用携带 80% 污染物所实际发生的径流量来判断比较直观^[29],所需的径流量越小,发生的初始冲刷效应越强烈。

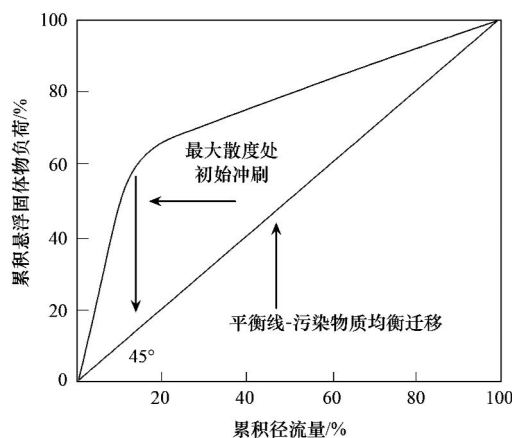


图 1 $M(V)$ 曲线示意

Fig. 1 Sketch of $M(V)$ curve

2 结果与分析

2.1 屋面和路面径流污染 EMC

屋面和路面是城市生态系统下垫面最重要的结构组分,代表了北京市绝大部分的不透水下垫面类型,在这些下垫面上进行的径流污染监测具有代表性。通过对屋面和路面径流监测,并计算,得到两种径流的次降雨 EMC 范围以及平均值(表 1),发现各种污染指标 EMC 的变化范围均较大,而且污染指标之间也有较大差异。两类径流的 COD 和 TN 污染较为严重;屋面径流的 COD、TN 分别超标(地表水环境质量标准 GB 3838-2002 V 类)3.64 和 4.8 倍;路面径流的 COD、TN 分别超标 3.73 和 1.07 倍。

2.2 屋面径流污染初始冲刷效应

屋面降雨污染累积负荷随着降雨过程累积流量的变化如图 2 所示。利用地表径流初始冲刷效应判别方法进行判别,发现在所监测的 6 场降雨中,各污

表 1 屋面和路面径流的 EMC

Table 1 EMC of roof and road runoff

径流类型	指标	EMC 范围/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	均值/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$
屋面径流 ($n=102$)	TSS	0.59 ~ 187.02	37.85
	COD	0.37 ~ 650.26	185.76
	TN	0.08 ~ 24.10	11.60
	TP	0.000 2 ~ 2.38	0.43
路面径流 ($n=144$)	TSS	5.43 ~ 451.93	189.05
	COD	22.26 ~ 310.61	114.97
	TN	2.26 ~ 8.19	4.14
	TP	0.15 ~ 0.28	0.18

染物发生了不同程度的初始冲刷现象. 对于 2004 年 6 月 16 日, 径流对 COD、TN 和 TP 发生了初始冲刷效应, 分别有 48%、45% 和 57% 的径流量携带了各自 80% 的污染负荷; TSS 没有发生初始冲

刷效应. 2004 年 6 月 30 日, COD 和 TN 发生了初始冲刷效应, 携带 80% 的污染负荷, 发生的径流量占总流量的比例分别是 52% 和 48%. 2004 年 7 月 10 日和 7 月 29 日所有污染物均发生了初始冲刷现象, 对于 7 月 10 日携带 80% 的 TSS、COD、TN 和 TP 负荷, 所发生的径流量分别是总流量的 54%、39%、50% 和 58%. 对于 7 月 29 日携带 80% 的 TSS、COD、TN 和 TP 负荷, 发生的径流量分别是总流量的 28%、61%、56% 和 51%. 2004 年 8 月 12 日, 只有 TSS 发生明显初始冲刷效应, 16% 的径流量就携带了 80% 的 TSS 总负荷. 对于 8 月 27 日, TSS、COD 和 TP 有初始冲刷效应出现, 携带 80% 的污染负荷发生的径流量分别是 53%、58% 和 58%.

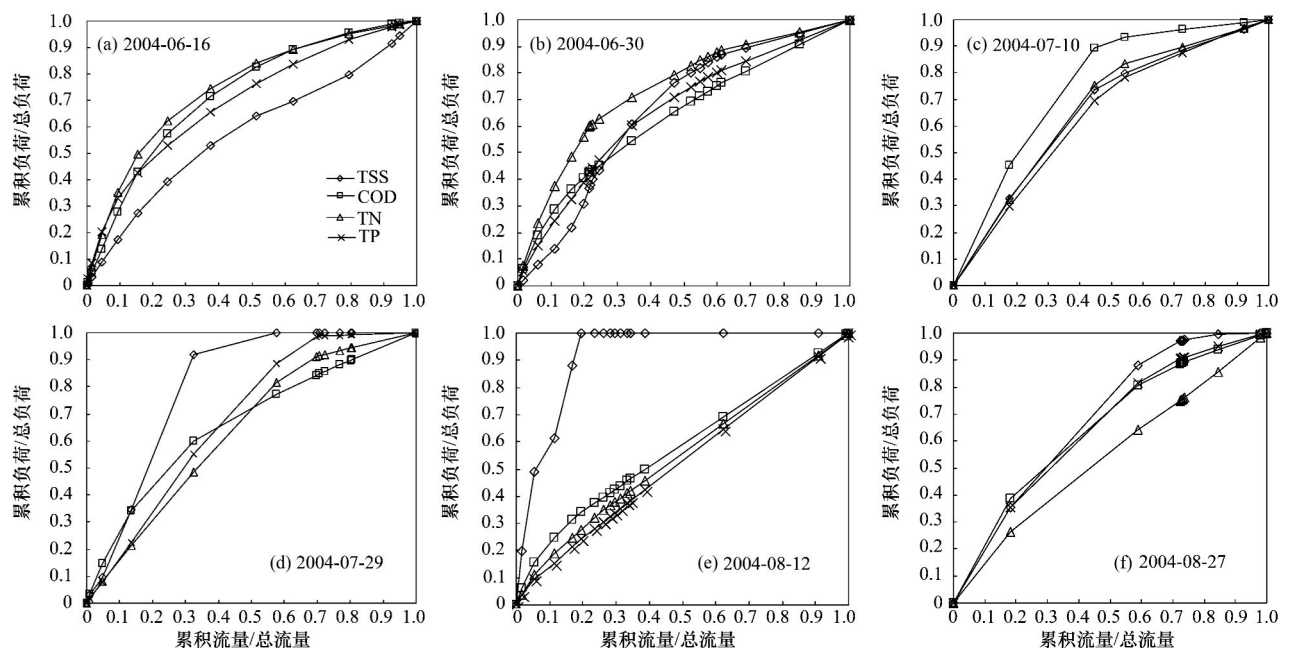


图 2 屋面径流初始冲刷

Fig. 2 First flush of roof runoff

研究结果显示, 同一场降雨中, 各个指标发生初始冲刷效应的强度不同, 而同一个指标在不同的降雨时间也表现出不同强度的初始冲刷效应. 究其原因, 一是屋面降雨径流的形成和污染物的形成受降雨时间和降雨量的影响, 径流携带污染物的能力就会有较大差异; 二是在不同类型的降雨条件下, 即使是同一取样点, 其汇水面积也不尽相同, 因此径流中初期污染物的量也不同; 另外降雨前的晴天数、当地的大气污染状况和采样点周围的人类活动情况可能也会影响到径流中污染物的累积过程. 相对于开放的汇水面来说, 屋面是一个面积比较固定的区域, 一般不会有大量外界物质的瞬时大量输入, 只要

其上污染物在晴天时有累积, 在降雨发生时较易发生初始冲刷现象.

2.3 路面径流的初始冲刷效应

路面径流的初始冲刷效应如图 3 所示, 2005 年 8 月 16 日的降雨, 分别有 10% 和 12% 的径流携带了 80% 的 TSS 和 TP, 初始冲刷效应非常强烈; 该场降雨在 4 h 内降雨近 100 mm, 在该场降雨的前一日发生了一场降雨, 且已经将大部分的路面沉积物携带走, 2005 年 8 月 16 日的降雨在降雨发生初期就将剩余的污染物携带走. 2006 年 7 月 23 日, 分别有 70% 和 73% 的径流携带了 80% 的 TSS 和 TP; 其余时间的其他指标均没有明显的初始冲刷效应出现.

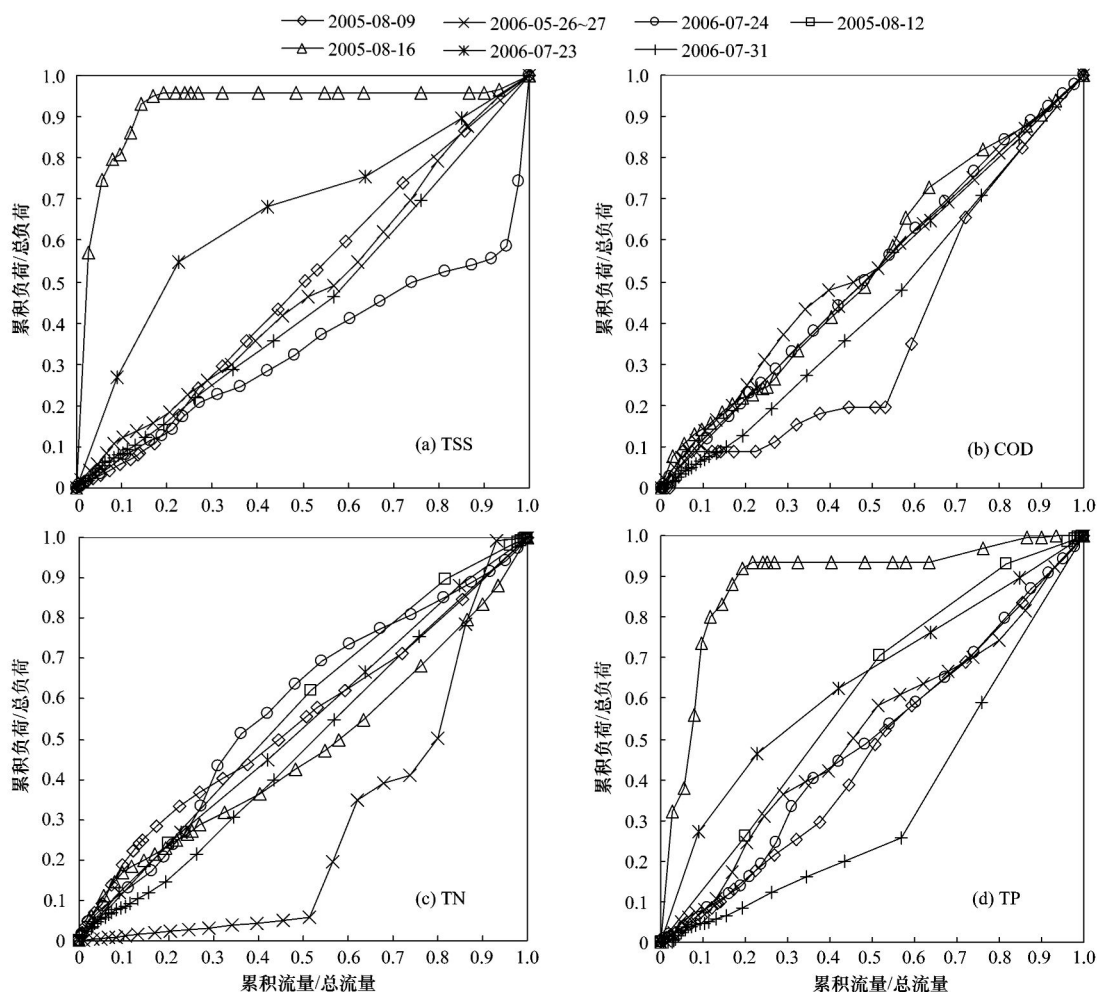


图3 路面径流初始冲刷

Fig. 3 First flush of road runoff

相对于屋面径流,路面是一个较为开放的区域,在不同的降雨量和降雨历时情况下,同一监测点汇集的汇水区域是不同的,在降雨初期径流会携带其下垫面上的污染物迁移,但随着降雨时间的延长,汇水面周围的污染物也会随着径流汇入监测点,使得初始冲刷效应的效果不明显。

3 讨论

3.1 初始冲刷效应的界定

Gupta 等^[13]对初始冲刷效应的界定是认为降雨初期阶段的污染物浓度高于后期阶段的浓度,如果 $M(V)$ 曲线位于对角线之上,即认为发生了初始冲刷效应,若 $M(V)$ 曲线位于对角线之下,则认为径流只是对污染物的稀释^[13,30],而没有初始冲刷现象发生。Lee 等^[9]用初始冲刷系数是否大于 1 来判断,若初始冲刷系数小于 1,则发生了初始冲刷现象,若大于 1 则没有。Bertrand-Krajewski 等^[31]用的评判方法

则更为严格,即本研究中所用的 30% 以内的径流携带至少 80% 的负荷。Vorreiter 和 Wanielista^[32,33]等建议使用 25% 径流携带 80% 的污染负荷来界定。国内研究人员根据研究需要,也有不同的界定方法。

3.2 屋面和路面径流初始冲刷效应的差异

路面径流污染物的冲刷过程跟屋面径流存在明显的区别,路面 TSS 和 TP 在同一场降雨同时发生了强烈的初始冲刷效应,而且变化趋势一致,说明路面径流的 TP 和 TSS 具有很强的相关性,径流中 TP 主要是依附颗粒态存在。Deletic^[34]在 Miljakovac 这类封闭区域的研究表明,只要下垫面上有足够多的颗粒沉积物,若水量足够大,就可以产生初始冲刷现象;而对于像 Lund 地区这样的开放区域,边界不明显,周围的草地等下垫面上的污染物在降雨过程中会源源不断地汇入,即使降雨时间再长也很难将污染物冲刷完全,只有在雨强很大或者流速很快时,初始冲刷现象才会发生。Ballo 等^[35]在上海市的研究

也表明,对于屋面大部分测试指标都发生了不同程度的初始冲刷效应,老旧的屋面材料表现更为突出;而对于路面径流污染这种效应比较弱,对很多监测指标都没有该现象发生,研究结论与本研究结果类似。出现这种情况的原因有很多,包括监测地点的差别、降雨状况的差别等。与上海的研究类似,本研究中,屋面径流的研究时间和路面径流的研究时间略有差别,也是导致该现象产生的因素之一。

3.3 初始冲刷效应强度大小的影响因素

降雨对城市下垫面上的污染物具有冲刷、稀释和溶解等多重作用,污染物浓度的大小受多种因素影响,包括降雨强度、降雨量、两次降雨之间的时间间隔等,污染物浓度是各个影响因素的复杂函数。雨强(即单位时间的降雨量)越大,雨水对地表的冲刷作用就越强,携带的污染物就越多,同样降雨有对污染物稀释的作用,在相同的污染物累积量条件下,降雨量越大,雨水对污染物的稀释作用越强,径流中污染物的浓度就会降低,降雨量与污染物平均浓度呈现负相关关系^[15,36]。

Lee 等^[9]对于初始冲刷效应的研究发现,初始冲刷效应强度大小与汇水面的大小和降雨强度有关,汇水面越小降雨越大,初始冲刷效应就越明显。城市下垫面沉积环境受人为活动影响较大,人类日常的生产、生活活动有意或无意地向环境中排放了大量的有毒有害物质,造成城市降雨径流中污染物的种类繁多,来源广泛,几乎涵盖了现今水质监测的污染物的所有方面,据悉 129 种重点污染物中约有 50% 在城市径流中被检出^[37]。由于受人类活动影响较小,其上的颗粒物含量少,但是由于屋面材料经过雨水浸泡使其上附着及材料内部的污染物质在降雨过程中被释放出来,随径流进入雨水管道。由于行人活动、车辆来往以及地表垃圾和灰尘等的累积使得路面径流受人为因素影响比屋面要剧烈,因此表现出很高的颗粒物含量。

4 结论

(1)通过对屋面和路面径流监测并计算,得到两种径流的次降雨 EMC 范围以及平均值,发现两类径流的 COD 和 TN 污染较为严重;屋面径流的 COD 和 TN 分别超标 3.64 和 4.8 倍;路面径流的 COD 和 TN 分别超标 3.73 和 1.07 倍。

(2)利用 $M(V)$ 曲线判断径流量同污染负荷的关系,发现屋面径流污染物 TSS、COD、TN 和 TP 发生了不同程度的初始冲刷现象;路面初始冲刷现象

主要表现为 TSS 和 TP,总体不明显。汇水面性质、降雨强度、污染物累积状况等都是影响屋面和路面径流污染物排放特征的影响因素。

参考文献:

- [1] 贺缠生,傅伯杰,陈利顶.非点源污染的管理及控制[J].环境科学,1998,19(5):87-91.
- [2] 陈利顶,傅伯杰.农田生态系统管理与非点源污染控制[J].环境科学,2000,21(2):98-100.
- [3] 王宝山,黄廷林,聂小保,等.不透水表面雨水径流污染物冲刷规律研究[J].环境工程学报,2010,4(9):1950-1954.
- [4] US EPA. Meeting the Environment Challenge[R]. Washington DC: US EPA, 1990. 46.
- [5] 王和意,刘敏,刘巧梅,等.城市降雨径流非点源污染分析与研究进展[J].城市环境与城市生态,2003,16(6):283-285.
- [6] 陆雍森.环境评价[M].(第二版).上海:同济大学出版社,1999.
- [7] 程波,张泽,陈凌,等.太湖水体富营养化与流域农业面源污染的控制[J].农业环境科学学报,2005,24(z1):118-124.
- [8] 程红光,岳勇,杨胜天,等.黄河流域非点源污染负荷估算与分析[J].环境科学学报,2006,26(3):384-391.
- [9] Lee J H, Bang K W. Characterization of urban stormwater runoff[J]. Water Research, 2000, 34(6): 1773-1780.
- [10] Kim G, Yur J, Kim J. Diffuse pollution loading from urban stormwater runoff in Daejeon city, Korea [J]. Journal of Environmental Management, 2007, 85(1): 9-16.
- [11] Lee J H, Bang K W, Ketchum L H, et al. First flush analysis of urban storm runoff[J]. Science of the Total Environment, 2002, 293(1-3): 163-175.
- [12] Brezonik P L, Sadelmann T H. Analysis and predictive models of stormwater runoff volumes, loads, and pollutant concentrations from watersheds in the Twin Cities metropolitan area, Minnesota, USA[J]. Water Research, 2002, 36(6): 1743-1757.
- [13] Gupta K, Saul A J. Specific relationships for the first flush load in combined sewer flows[J]. Water Research, 1996, 30(5): 1244-1252.
- [14] Gnecco I, Berretta C, Lanza L G, et al. Storm water pollution in the urban environment of Genoa, Italy [J]. Atmospheric Research, 2005, 77(1-4): 60-73.
- [15] 任玉芬,王效科,韩冰,等.城市不同下垫面的降雨径流污染[J].生态学报,2005,25(12):3225-3230.
- [16] 常静,刘敏,许世远,等.上海城市降雨径流污染时空分布与初始冲刷效应[J].地理研究,2006,25(6):994-1002.
- [17] 常静,刘敏,李先华,等.城市地表灰尘-降雨径流系统重金属生物有效性研究[J].环境科学,2009,30(8):2241-2247.
- [18] 边博,朱伟,黄峰,等.镇江城市降雨径流营养盐污染特征研究[J].环境科学,2008,29(1):19-25.
- [19] 李国斌,王焰新,程胜高.基于暴雨径流过程监测的非点源污染负荷定量研究[J].环境保护,2002,(5):46-48.
- [20] 李立青,尹澄清,何庆慈,等.武汉市城区降雨径流污染负

- 荷对受纳水体的贡献[J]. 中国环境科学, 2007, **27**(3): 312-316.
- [21] 李立青, 尹澄清. 雨、污合流制城区降雨径流污染的迁移转化过程与来源研究[J]. 环境科学, 2009, **30**(2): 368-375.
- [22] 何庆慈, 李立青, 孔玲莉, 等. 武汉市汉阳区的暴雨径流污染特征[J]. 中国给水排水, 2005, **21**(2): 101-103.
- [23] 李立青, 尹澄清, 何庆慈, 等. 城市降水径流的污染来源与排放特征研究进展[J]. 水科学进展, 2006, **17**(2): 288-294.
- [24] 李立青, 尹澄清, 何庆慈, 等. 武汉汉阳地区城市集水区尺度降雨径流污染过程与排放特征[J]. 环境科学学报, 2006, **26**(7): 1057-1061.
- [25] Li L Q, Yin C Q, He Q C, *et al.* First flush of storm runoff pollution from an urban catchment in China[J]. Journal of Environmental Sciences, 2007, **19**(3): 295-299.
- [26] 李立青, 尹澄清, 孔玲莉, 等. 2次降雨间隔时间对城市地表径流污染负荷的影响[J]. 环境科学, 2007, **28**(10): 2287-2293.
- [27] 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.
- [28] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. (第三版). 北京: 中国环境科学出版社, 1989. 103, 108-110, 278-283, 354-356, 362-366.
- [29] Geiger W F. Flushing effects in combined sewer systems[A]. In: Yen B C (Ed.). Proceedings of the 4th international conference on urban storm drainage[C]. Lausanne, Switzerland, 1987. 40-46.
- [30] Ashley R M, Wotherspoon D J J, Coghlan B P, *et al.* The erosion and movement of sediments and associated pollutants in combined sewers[J]. Water Science and Technology, 1992, **25**(8): 101-114.
- [31] Bertrand-Krajewski J L, Chebbo G, Saget A. Distribution of pollutant mass vs volume in stormwater discharges and the first flush phenomenon[J]. Water Research, 1998, **32**(8): 2341-2356.
- [32] Vorreiter L, Hickey C. Incidence of the first flush phenomenon in catchments of the Sydney region[A]. In: Australia: National Conference Publication, Institution of Engineers, 1994. 359-364.
- [33] Wanielista M P, Yousef Y A. Stormwater management[M]. New York, USA: John Wiley and Sons, 1993.
- [34] Deletic A. The first load of urban surface runoff[J]. Water Research, 1998, **32**(8): 2462-2470.
- [35] Ballo S, Liu M, Hou L J, *et al.* Pollutants in stormwater runoff in Shanghai (China): implications for management of urban runoff pollution[J]. Progress in Natural Science, 2009, **19**(7): 873-880.
- [36] 任玉芬, 王效科, 欧阳志云, 等. 沥青油毡屋面降雨径流污染物浓度历时变化研究[J]. 环境科学学报, 2006, **26**(4): 601-606.
- [37] 聂发辉. 上海城市景观绿地削减地表径流及其污染负荷的可行性研究[D]. 上海: 同济大学, 2008.

CONTENTS

Characteristics of Total Gaseous Mercury Concentrations at a Rural Site of Yangtze Delta, China	DOU Hong-ying, WANG Shu-xiao, WANG Long, <i>et al.</i> (1)
Compositions of Organic Acids in PM ₁₀ Emission Sources in Xiamen Urban Atmosphere	YANG Bing-yu, HUANG Xing-xing, ZHENG An, <i>et al.</i> (8)
Analysis on Water-soluble Inorganic Ions in the Atmospheric Aerosol of Xinglong	LI Xing-ru, SONG Ai-li, WANG Ying-feng, <i>et al.</i> (15)
Effects of Gaseous Compositions the on Simultaneous Removal of NO _x and SO ₂ from Simulated Flue Gas by Ammonia Absorption	WANG Hong, ZHU Tian-le, WANG Mei-yan (21)
Comparing the Ammonia Volatilization Characteristic of Two Typical Paddy Soil with Total Wheat Straw Returning in Taihu Lake Region	WANG Jun, WANG De-jian, ZHANG Gang, <i>et al.</i> (27)
Real-Time Analysis of Polyvinyl Chloride Thermal Decomposition/Combustion Products with Single Photon Ionization/Photoelectron Ionization Online Mass Spectrometer	CHEN Wen-dong, HOU Ke-yong, CHEN Ping, <i>et al.</i> (34)
Surface Characteristics of Alkali Modified Activated Carbon and the Adsorption Capacity of Methane	ZHANG Meng-zhu, LI Lin, LIU Jun-xin, <i>et al.</i> (39)
Distribution of Dimethylsulfoxide(DMSO) in the Surface Water of the Yellow Sea and the Bohai Sea	WANG Min, ZHANG Hong-hai, YANG Gui-peng (45)
Resolving Characteristic of CDOM by Excitation-Emission Matrix Spectroscopy Combined with Parallel Factor Analysis in the Seawater of Outer Yangtze Estuary in Autumn in 2010	YAN Li-hong, CHEN Xue-jun, SU Rong-guo, <i>et al.</i> (51)
Estimation and Forecast of Chlorophyll a Concentration in Taihu Lake Based on Ensemble Square Root Filters	LI Yuan, LI Yun-mei, WANG Qiao, <i>et al.</i> (61)
Research of Hyperspectral Reconstruction Based on HJ1A-CCD Data	GUO Yu-long, LI Yun-mei, ZHU Li, <i>et al.</i> (69)
Research on the Sensitivity of Geochemical of Underground River in Chongqing Xueyu Cave	XU Shang-quan, YANG Ping-heng, YIN Jian-jun, <i>et al.</i> (77)
Bivariate Statistical Model for Calculating Phosphorus Input Loads to the River from Point and Nonpoint Sources	CHEN Ding-jiang, SUN Si-yang, JIA Ying-na, <i>et al.</i> (84)
Temporal and Spatial Variations of Total Nitrogen and Total Phosphorus in the Typical Reaches of Qinhuai River	LI Yue-fei, XIA Yong-qiu, LI Xiao-bo, <i>et al.</i> (91)
Derivation and Application of Sediment Quality Criteria of Cd and Hg for the Xiangjiang River	JIANG Bo-feng, SANG Lei-xin, SUN Wei-ling, <i>et al.</i> (98)
Distribution and Pollution Assessment of Heavy Metals in Soil of Relocation Areas from the Danjiangkou Reservoir	ZHANG Lei, QIN Yan-wen, ZHENG Bing-hui, <i>et al.</i> (108)
Concentrations of Soil Heavy Metals and Their Spatial Distribution in the Surrounding Area of Fenhe Reservoir	LI Jin-chang, ZHANG Hong, SHI Wei (116)
Distribution and Health Risk Assessment of Heavy Metals of Groundwaters in the Irrigation District of the Lower Reaches of Yellow River	ZHANG Yan, LI Fa-dong, OUYANG Zhu, <i>et al.</i> (121)
Concentrations and Distribution of Organochlorine Pesticides in the Surface Sediments of Jiaozhou Bay, Taozi Bay and Sishili Bay	LIU Yi-kai, ZHONG Guang-cai, TANG Jian-hui, <i>et al.</i> (129)
Choice of Macroinvertebrate Metrics for Constructing a Benthic-Index of Biotic Integrity Based on the Disturbance Gradients in the Qinjiang River Basin	LU Dong-qi, ZHANG Yong, CAI De-suo, <i>et al.</i> (137)
Isolation and Identification of <i>Marinobacter adhaerens</i> HY-3 and Its Allelopathy on <i>Skeletonema costatum</i>	WANG Hong-bin, CHEN Wen-hui, LI Xin-shu, <i>et al.</i> (145)
Effects of the Rice Straw on <i>Microcystis aeruginosa</i> Analyzed by Different Physiological Parameters	SU Wen, KONG Fan-xiang, YU Yang, <i>et al.</i> (150)
Effects of Allelochemicals Ethyl Cinnamate on the Growth and Physiological Characteristics of <i>Chlorella pyrenoidosa</i>	GAO Li-li, GUO Pei-yong, SU Guang-ming, <i>et al.</i> (156)
Hydraulic Simulation and Safety Assessment of Secondary Water Supply System with Anti-Negative Pressure Facility	WANG Huan-huan, LIU Shu-ming, JIANG Shuai, <i>et al.</i> (163)
Effect of Relative Molecular Mass Distribution and Hydrophilicity/Hydrophobicity of NOM on Membrane Fouling in MF-combined Process	HU Meng-liu, LIN Jie, XU Guang-hong, <i>et al.</i> (169)
Effect of Permeabilization on Sulfate Reduction Activity of <i>Desulfovibrio vulgaris</i> Hildenborough Cells in the Presence of Different Electron Donors	XU Hui-wei, ZHANG Xu, LI Li-ming, <i>et al.</i> (177)
Dechlorination of HCB by Bimetals Based on Zero Valent Iron	ZENG Xian-wei, LIU Jian-guo, NIE Xiao-qin (182)
Study on Kinetics of Photoelectrocatalytic Degradation of Supported TiO ₂ on Malachite Green	ZHANG Xiao-na, ZHOU Shao-qi, ZHOU Xiao (188)
Measurement and Analysis of Micropore Aeration System's Oxygenating Ability Under Operation Condition in Waste Water Treatment Plant	WU Yuan-yuan, ZHOU Xiao-hong, SHI Han-chang, <i>et al.</i> (194)
Influence of Microbubble and Its Generation Process on Mixed Liquor Properties of Activated Sludge	LIU Chun, MA Jin, ZHANG Lei, <i>et al.</i> (198)
Impact of Different Nitrogen Concentrations on the N ₂ O Production in the Denitrification Process of Granular Sludge	HAN Xue, GAO Da-wen (204)
Effect of Simulated Heavy Metal Leaching Solution of Electroplating Sludge on the Bioactivity of <i>Acidithiobacillus ferrooxidans</i>	XIE Xin-yuan, SUN Pei-de, LOU Ju-qing, <i>et al.</i> (209)
Characteristic and Ion Exchanges During Cu ²⁺ and Cd ²⁺ Biosorption by <i>Stenotrophomonas maltophilia</i>	BAI Jie-qiong, YIN Hua, YE Jin-shao, <i>et al.</i> (217)
Sorption of Nitrobenzene to Anionic Surfactant Modified Layered Double Hydroxides	XIA Yan, ZHU Run-liang, TAO Qi, <i>et al.</i> (226)
Study on Phosphate Removal and Recovery by Activated Alumina	MENG Wen-na, XIE Jie, WU De-yi, <i>et al.</i> (231)
Spatial Distribution of Inhalable Particulate and Association with Respiratory Disease in Beijing City	YANG Wei, ZHAO Wen-ji, GONG Zhao-ning, <i>et al.</i> (237)
Pollution Levels of Perfluorochemicals in Chicken Eggs and Duck Eggs from the Markets in Beijing	QI Yan-jie, ZHOU Zhen, SHI Ya-li, <i>et al.</i> (244)
Residual Levels of Pesticides in Freshwater Fish from Beijing Aquatic Product Markets and Health Risk Assessment	YU Zhi-yong, JIN Fen, SUN Jing-fang, <i>et al.</i> (251)
Characterizing the Toxicity Interaction of the Binary Mixture Between DMSO and Pesticide by the Multi-Effect Residual Analysis (MERA)	HUO Xiang-chen, LIU Shu-shen, ZHANG Jing, <i>et al.</i> (257)
Isolation of Quinolofop- <i>p</i> -ethyl-degrading Bacteria from Soil by DGGE-Colony <i>in situ</i> Hybridization	LÜ Xin, PENG Xia-wei, HU Qing, <i>et al.</i> (263)
White-Rot Fungi Combinations Impact on Enzyme Productions	MENG Yao, LIANG Hong, GAO Da-wen (271)
Effects of Different Fertilizer Application on Soil Active Organic Carbon	ZHANG Rui, ZHANG Gui-long, JI Yan-yan, <i>et al.</i> (277)
Effect of Reclamation on the Vertical Distribution of SOC and Retention of DOC	HUO Li-li, ZOU Yuan-chun, GUO Jia-wei, <i>et al.</i> (283)
Distribution Characteristics of Soil Organic Carbon and Its Composition in <i>Suaeda salsa</i> Wetland in the Yellow River Delta	DONG Hong-fang, YU Jun-bao, GUAN Bo (288)
Study the Restoration Technology of Concentrated Application-Natural Diffusion about Amendments of Acidified Soil of Hilly Woodland	FANG Xiong, LIU Ju-xiu, YIN Guang-cai, <i>et al.</i> (293)
Optimizing Remediation Conditions of Non-thermal Plasma for DDTs Heavily Contaminated Soil	CHEN Hai-hong, LUO Yong-ming, TENG Ying, <i>et al.</i> (302)
Chemical Extraction of Arsenic Co-precipitated with Amorphous Fe(OH) ₃ and Fe ₃ O ₄	CHEN Yi-ping, WANG Shao-feng, JIA Yong-feng (308)
Influence of Aluminum and Manganese on the Growth, Nutrient Uptake and the Efflux by Ectomycorrhizal Fungi	LI Hua, HUANG Jian-guo, YUAN Ling (315)
High-solids Anaerobic Co-digestion of Sludge and Kitchen Garbage Under Mesophilic Conditions	DUAN Ni-na, DONG Bin, LI Jiang-hua, <i>et al.</i> (321)
Preparation, Characterization and Adsorption Performance of High Surface Area Biomass-based Activated Carbons	LI Kun-quan, LI Ye, ZHENG Zheng, <i>et al.</i> (328)
Study on Strategies of Pollution Prevention in Coastal City of Zhejiang Province Based on Scenario Analysis	TIAN Jin-ping, CHEN Lü-jun, DU Peng-fei, <i>et al.</i> (336)
Advance in the Bioavailability Monitoring of Heavy Metal Based on Microbial Whole-cell Sensor	HOU Qi-hui, MA An-zhou, ZHUANG Xiu-liang, <i>et al.</i> (347)
Characteristics of Heavy Metal Contamination in Street Dusts Along the Urban-Rural Gradient Around Beijing	HE Xiao-yan, GU Pei, LI Xu-yong, <i>et al.</i> (357)
Content Trends of Pollutants in Street Dust of Beijing Along the Urban-Rural Gradient and Road Density Gradient	TANG Rong-li, MA Ke-ming, ZHANG Yu-xin, <i>et al.</i> (364)
Analysis of First Flush Effect of Typical Underlying Surface Runoff in Beijing Urban City	REN Yu-fen, WANG Xiao-ke, OUYANG Zhi-yun, <i>et al.</i> (373)
Temporal Variation of Water Quality and Driving Factors in Yanghe Watershed of Zhangjiakou	PANG Bo, WANG Tie-yu, LÜ Yong-long, <i>et al.</i> (379)
Research on Carbon Reduction Potential of Electric Vehicles for Low-Carbon Transportation and Its Influencing Factors	SHI Xiao-qing, LI Xiao-nuo, YANG Jian-xin (385)
Investigation of Waste Classification and Collection Actual Effect and the Study of Long Acting Management in the Community of Beijing	DENG Jun, XU Wan-ying, ZHOU Chuan-bin (395)
Problems and Countermeasures in the Application of Constructed Wetlands	HUANG Jin-lou, CHEN Qin, XU Lian-huang (401)

《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1月15日 34卷 第1期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 1 Jan. 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

国内外公开发刊