ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV

# 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

双奖期刊

环境科学
(HUANJING KEXUE)
ENVIRONMENTAL SCIENCE
第 33 卷 第 11 期
2012 年 11 月 15 日

# 目 次

京津冀与长三角区域大气 $NO_2$ 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)
云南阳宗海砷的分布与来源 …… 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 …… 高锋,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/$TiO_2$ 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)
炔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,李淼,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桤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,李昊塬,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)
硫化物对垃圾掺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 $NH_3$ 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,王小伦,付静,解跃峰(4046)
一种厌氧微观定量研究新方法 …… 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)
降解蒽嗜盐菌 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)

# 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[1],吕书丛[1],朱仁肖[1],刘泽权[1],单保庆[2]
(1. 中国地质大学环境学院,武汉 430074; 2. 中国科学院生态环境研究中心环境水质学国家重点实验室, 北京 100085)

**摘要**: 2010 年通过对北京市新建城区典型不透水地表径流水样的采集与分析,研究新建城区地表径流水质特征及其 N、P 输出形态组成,以期为城市地表径流污染的源区控制提供科学依据. 结果表明,北京市新建区典型不透水地表屋面和道路地表径流污染初期冲刷效应显著,屋面径流污染负荷的输出主要集中在初期 10 mm 径流,而道路径流污染负荷的输出主要集中在初期 15 mm 径流. 屋面地表径流 TSS、COD、TN、$NH_4^+$-N、$NO_3^-$-N和 TP 事件浓度均值分别为 50.2、81.7、6.07、2.94、1.05 和 0.11 mg·L$^{-1}$; 道路地表径流 TSS、COD、TN、$NH_4^+$-N、$NO_3^-$-N和 TP 事件浓度均值分别为 539.0、276.4、7.00、1.71、1.51 和 0.61 mg·L$^{-1}$. 屋面径流颗粒态 COD、TN 和 TP 分别占 20.8%、12.3% 和 49.7%,道路径流颗粒态 COD、TN 和 TP 分别占 68.6%、20.0% 和 73.6%. 屋面径流溶解性氮素占总氮 87.7%,其中$NH_4^+$-N和$NO_3^-$-N分别占 57.6% 和 22.5%,道路径流溶解性氮素占总氮的 80.0%,其中$NH_4^+$-N和$NO_3^-$-N分别占 42.1% 和 35.0%. 城市地表径流污染控制应加强$NH_4^+$-N和$NO_3^-$-N的去除.

**关键词**:氮磷组成; 城市地表径流; 水质; 源区监测; 新建城区
**中图分类号**: X52 **文献标识码**: A **文章编号**: 0250-3301(2012)11-3760-08

# Nitrogen and Phosphorus Composition in Urban Runoff from the New Development Area in Beijing

LI Li-qing[1], LÜ Shu-cong[1], ZHU Ren-xiao[1], LIU Ze-quan[1], SHAN Bao-qing[2]
(1. School of Environmental Studies, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China; 2. State Key Laboratory of Environmental Aquatic Chemistry, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China)

**Abstract**: Stormwater runoff samples were collected from two impervious roof and road of the new development area in Beijing, during three rainfall events in an attempt to characterize the urban runoff and determine nitrogen and phosphorus composition. The outcomes are expected to offer the practical guidance in sources control of urban runoff pollution. The results indicated that the stormwater runoff from the studied area presented a strong first flush for all monitored events and constituents. Eighty percent of the total pollutant loads were transported by the first 10 mm flow volume for roof runoff, whereas 80% of the total pollutant loads were discharged by the first 15 mm flow volume for road runoff. Average EMCs of TSS, COD, TN, $NH_4^+$-N, $NO_3^-$-N and TP for roof runoff were 50.2 mg·L$^{-1}$, 81.7 mg·L$^{-1}$, 6.07 mg·L$^{-1}$, 2.94 mg·L$^{-1}$, 1.05 mg·L$^{-1}$, and 0.11 mg·L$^{-1}$, respectively. Average EMCs of TSS, COD, TN, $NH_4^+$-N, $NO_3^-$-N and TP for road runoff were 539.0 mg·L$^{-1}$, 276.4 mg·L$^{-1}$, 7.00 mg·L$^{-1}$, 1.71 mg·L$^{-1}$, 1.51 mg·L$^{-1}$, and 0.61 mg·L$^{-1}$, respectively. Moreover, for the roof runoff, the particle-bound fraction was 20.8% for COD, 12.3% for TN, and 49.7% for TP. For road runoff, the particle-bound fraction was 68.6% for COD, 20.0% for TN, and 73.6% for TP. Nitrogen in roof runoff was predominantly dissolved (87.7%), with ammonia (57.6%) and nitrate (22.5%). Nitrogen in road runoff was also predominantly dissolved (80.0%), with ammonia (42.1%) and nitrate (35.0%). These findings can assist the development of effective source control strategies to immobilize dissolved and particulate-bound nitrogen/phosphorus in urban stormwater.

**Key words**: nitrogen and phosphorus composition; urban runoff; water quality; source area monitoring; new development area

世界范围内的城市化对自然生态系统产生了极其严重的负面影响,土地利用/覆盖的变更,大量不透水地表的出现及其人类活动的复杂性,不仅显著增加了地表径流量,而且随之产生地表径流污染. 城市地表径流中含有源于多种人为活动的悬浮颗粒物、营养盐、重金属和有毒有机污染物[1~3],是非点源污染物进入受纳水体的重要传输途径[1],恶化受纳水体水质,破坏水生生态系统[4,5]. 目前国际上对地表径流污染的控制研究中,低影响发展技术是新一代城市地表径流污染控制的最佳管理措施,非常重视地表径流污染源区的水量、水质控制[6~8]. 近

**收稿日期**: 2011-11-29; **修订日期**: 2012-05-16
**基金项目**: 国家自然科学基金项目(40801207); 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2008ZX07315-001, 2008ZX07209-003)
**作者简介**: 李立青(1977~), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向为城市地表径流污染控制, E-mail: li-liqing@163.com

年来,我国陆续开展北京、西安、武汉、上海、镇江、澳门等城市地表径流的水质监测分析,积累了大量的数据[9~17],可为城市地表径流污染的环境风险评估和源区控制提供科学依据. 本研究选取北京市海淀区中关村环境保护科技示范园区不透水地表,开展地表径流水质的监测,探讨新建城区不透水地表径流污染特征,重点分析不透水地表径流中 N、P 的输出形态特征,以期为新建城区地表径流污染源区控制提供科学依据.

## 1　研究区概况与研究方法

### 1.1　监测源区的基本特征

本研究对地表径流污染的监测主要集中在北京市海淀区中关村环境保护科技示范园,是北京市城市化进程中土地利用由农业用地变为城市建设用地的典型. 中关村环境保护科技示范园规划用地为 359.4 $hm^2$,原主要用地为农田,农田用地 304.5 $hm^2$,占总面积的 84.7%. 中关村环境保护科技示范园规划建成后绿地面积 84.4 $hm^2$,水域面积 20.6 $hm^2$,道路面积 87.2 $hm^2$,其余为各种产业建设用地. 目前园区开发建设已完成 60% 左右,在土地利用变更过程中,屋面与道路为主要新增不透水地表. 本研究地表径流污染监测选择已建成投入使用的屋面和道路,探讨新建城区典型不透水地表径流的水质特征. 监测屋面的汇流面积为 250 $m^2$,屋面材料为沥青,道路汇流面积 300 $m^2$,材料也为沥青.

### 1.2　径流水样采集与分析

在 2010 年北京地区的雨季 6 ~ 8 月,对屋面与道路地表径流进行监测,共采集 3 场降雨,基本特征见表 1. 从降雨产生径流开始每隔 5 min 或 10 min 取径流水样 1 个. 同时利用安装在屋顶的自动记录雨量计 RG3-M 监测降雨过程,降雨过程数据用于地表径流流量过程的计算和水质变化过程的分析.

**表 1　2010 年监测降雨的基本特征**

Table 1　Characteristics of rainfall events sampled in 2010

| 降雨事件 | 降雨时间 | 降雨量/mm | 降雨历时/h | 降雨强度/mm·h$^{-1}$ | 2 次降雨间隔时间/d |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2010-06-13 | 13.6 | 1.5 | 9.1 | 13 |
| 2 | 2010-07-09 | 44.8 | 4.3 | 10.4 | 27 |
| 3 | 2010-08-04 | 22.4 | 4.8 | 4.7 | 16 |

城市地表径流主要分析的水质指标为 TSS、COD、TN、TP、DTN(溶解性 TN)、DTP(溶解性 TP)、$NO_3^-$-N、$NH_4^+$-N. TSS、COD、TN、TP 原样直接测定,过 0.45 μm 滤膜测定 DTN、DTP、$NO_3^-$-N、$NH_4^+$-N. 水质分析测定均按照标准分析方法进行[18].

### 1.3　数据处理

由于降雨特征、集水区特征和污染物本身性质的影响,1 次降雨径流水质、水量变化范围大. 为了表征 1 次降雨事件监测区径流污染程度,采用污染物的流量加权平均浓度(event mean concentration, EMC),称为事件平均浓度,即总污染量与总径流量之比. 假如 1 次径流的持续时间为 $t_r$,那么 EMC 可表达为:

$$\mathrm{EMC} = \frac{M}{V} = \frac{\int_0^{t_r} c_t q_t \mathrm{d}t}{\int_0^{t_r} q_t \mathrm{d}t} \cong \frac{\sum c_t q_t \Delta t}{\sum q_t \Delta_t} \qquad (1)$$

式中,EMC 为 1 次径流污染的事件平均浓度(mg·L$^{-1}$);$M$ 为整个径流过程中污染物的量(g);$V$ 为径流总量($m^3$);$t$ 为时间(min);$c_t$ 为 $t$ 时刻污染物的浓度;$q_t$ 为 $t$ 时刻径流流量($m^3$·min$^{-1}$);$\Delta t$ 是采样间隔时间(min);$t_r$ 是指降雨径流持续时间(min). 其中径流流量 $q_t$ 采用模型计算,基于屋面与道路汇水区条件单一,参照文献[19,20]利用 SWMM(storm water management model)模型在城市不透水地表区地表的模拟结果,分别模拟了 3 场降雨的地表径流流量过程. 利用式(1)对中关村环境保护科技示范园屋面与道路监测点,计算每一次地表径流各监测指标的事件平均浓度(EMC, mg·L$^{-1}$). 同时给出了每次地表径流各污染物的负荷(kg·$hm^{-2}$).

## 2　结果与讨论

### 2.1　城市地表径流污染物浓度随降雨、径流的变化过程及初期冲刷效应

图 1 ~ 图 3 分别为 2010 年的 6 月 13 日、7 月 9 日、8 月 4 日中关村环境保护科技示范园沥青屋面地表径流污染物浓度随降雨、径流的变化过程,图 4 ~ 图 6 分别为 2010 年的 6 月 13 日、7 月 9 日、8 月 4 日中关村环境保护科技示范园沥青道路地表径流污染物浓度随降雨、径流的变化过程. 新建城区两

类典型不透水地表径流污染排放过程的主要特征是污染物浓度在降雨径流的初期相对较高,随着降雨径流过程的延续,各种污染物的浓度逐渐下降并趋于稳定,其中溶解态污染的输出快于相应颗粒态的污染物. 这是因为在降雨径流的初期,降雨径流的溶解冲刷作用占主导地位,从而污染物的浓度相对较高. 在降雨径流后期,地表污染物的持续减少,降雨径流的稀释作用逐渐占主导地位,从而污染物浓度降低. 对比屋面与道路径流污染输出过程可以看出,3 次降雨屋面径流初期冲刷程度高于道路径流,屋面径流污染负荷的排放快于道路,屋面径流污染负荷的输出主要集中在初期 10 mm 径流,而道路径流污染负荷的输出主要集中在初期 15 mm 径流,反映了屋面污染累积程度低于道路. 另外需要指出的是对于新建城区沥青屋面径流中$NH_4^+$-N的污染比较突出,为屋面径流的主要污染物. 而道路径流的主要污染物为 TSS、COD、TN 和 TP.

**2.2** 屋面与道路地表径流水质事件平均浓度、污染负荷及其季节性特征

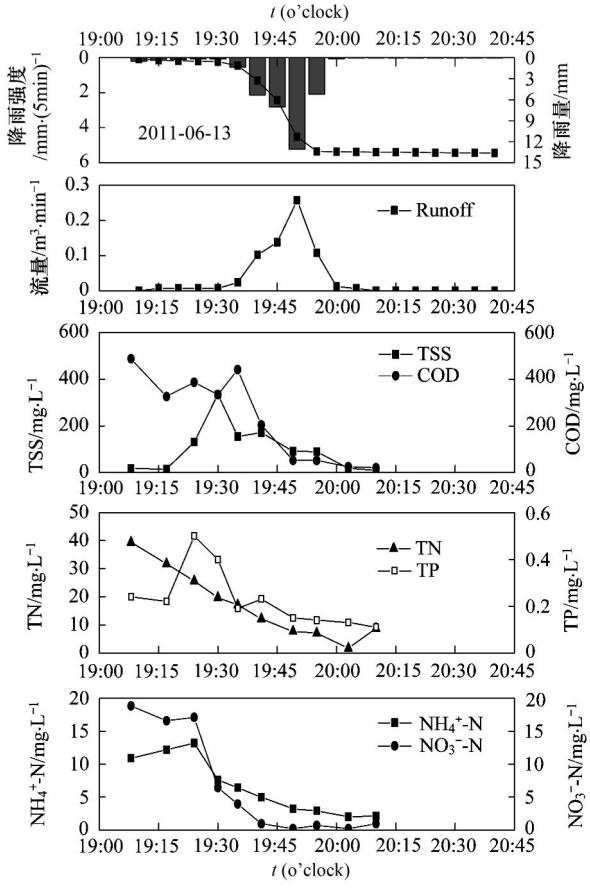


**图 1 2010 年 6 月 13 日屋面降雨、径流、污染物浓度变化过程**

Fig. 1 Temporal variation of rainfall intensity, flow rate, and water quantity of roof runoff (2010-06-13)

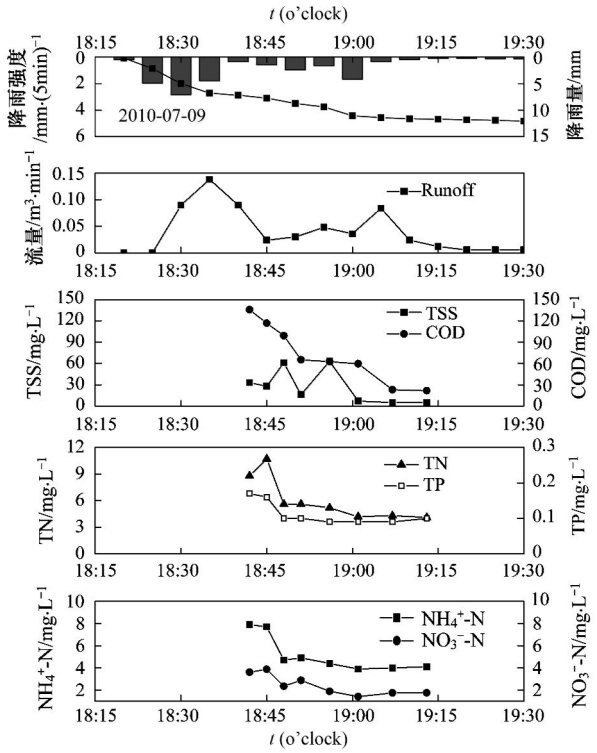


**图 2 2010 年 7 月 9 日屋面降雨、径流、污染物浓度变化过程**

Fig. 2 Temporal variation of rainfall intensity, flow rate, and water quantity of roof runoff (2010-07-09)

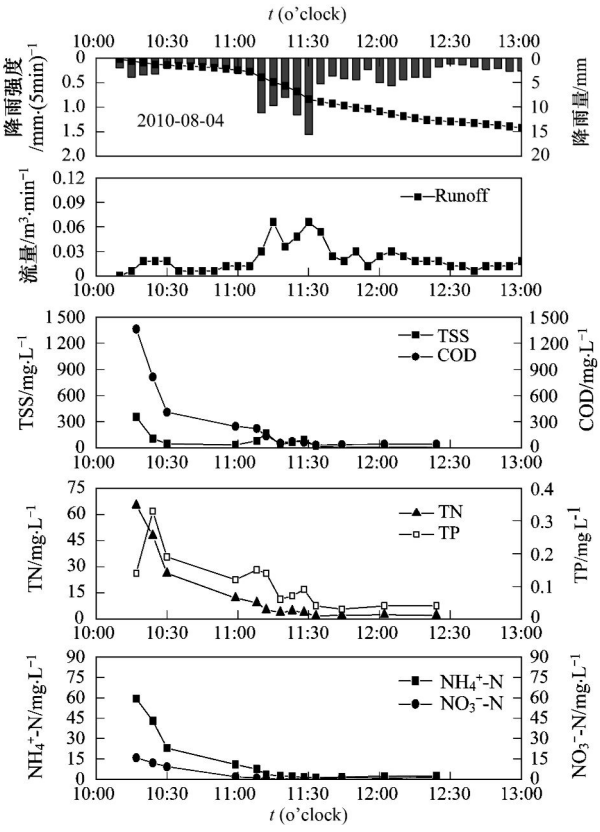


**图 3 2010 年 8 月 4 日屋面降雨、径流、污染物浓度变化过程**

Fig. 3 Temporal variation of rainfall intensity, flow rate, and water quantity of roof runoff (2010-08-04)

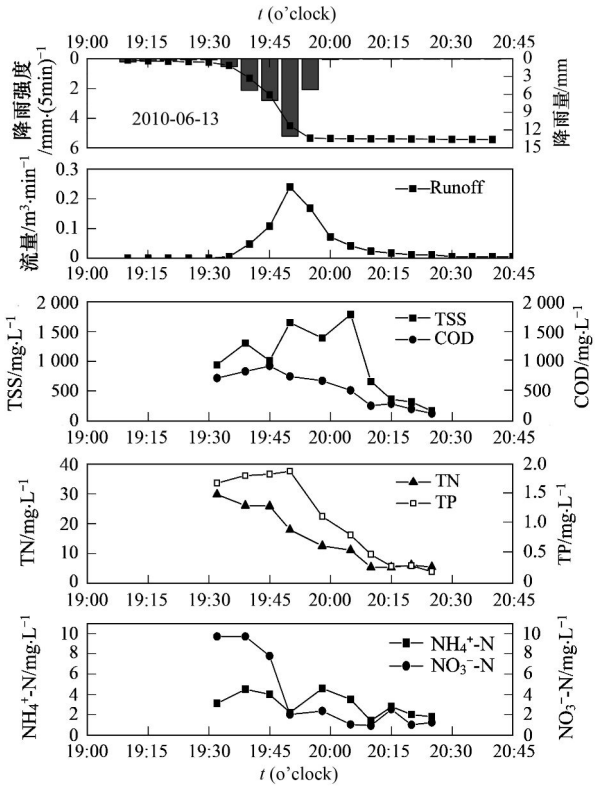


**图 4　2010 年 6 月 13 日道路降雨、径流、污染物浓度变化过程**

Fig. 4　Temporal variation of rainfall intensity, flow rate, and water quantity of road runoff (2010-06-13)

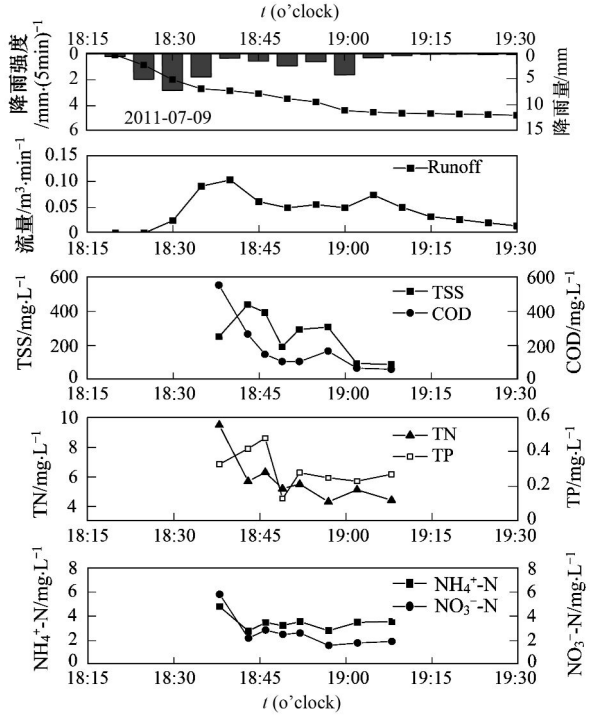


**图 5　2010 年 7 月 9 日道路降雨、径流、污染物浓度变化过程**

Fig. 5　Temporal variation of rainfall intensity, flow rate, and water quantity of road runoff (2010-7-09)

表 2 是对中关村环境保护科技示范园屋面、道路 3 次地表径流水质事件平均浓度的统计,同时给出了每次降雨地表径流污染负荷. 比较 3 次地表径流事件平均浓度和污染负荷,2010 年 6 月 13 日屋面、道路地表径流水质整体最差,污染负荷最高,反映了地表径流污染的季节性差异. 根据 2010 年中关村环境保护科技示范园日降雨量≥10.0 mm 降雨事件的分布(图 7),6 月 13 日降雨事件为日降雨量≥10.0 mm 的第 5 场降雨事件,其中 3 月 24 日、4 月 25 日、5 月 18 日的降雨都小于 6 月 13 日,仅 5




**图 6　2010 年 8 月 4 日道路降雨、径流、污染物浓度变化过程**

Fig. 6　Temporal variation of rainfall intensity, flow rate, and water quantity of road runoff (2010-08-04)

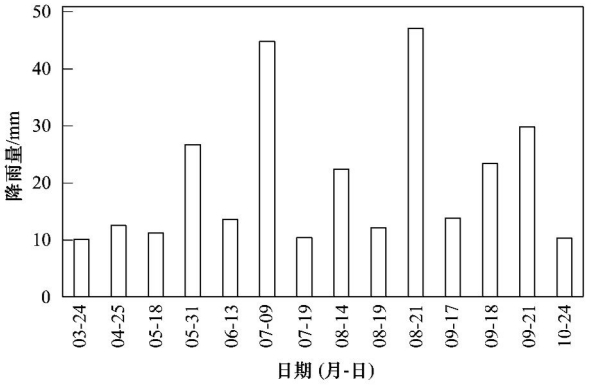


**图 7　2010 年中关村环境保护科技示范园日降雨量≥10.0 mm 事件统计**

Fig. 7　Distribution of rain events (≥10.0 mm) in 2010

月 31 日降雨量大于 6 月 13 日,半干旱地区的北京冬、春两季是污染物在地表的累积潜伏期,春末夏初的前几次降雨是地表径流污染的关键发生期,尽管 7 月 9 日、8 月 4 日降雨量大于 6 月 13 日,但是污染负荷整体呈显著下降趋势.

由表 2 可以看出,中关村环境保护科技示范园屋面和道路 3 次地表径流水质整体劣于地表水环境质量Ⅴ类. 屋面地表径流 TSS、COD、TN、$NH_4^+$-N、$NO_3^-$-N和 TP 事件浓度均值分别为 50.2、81.7、6.07、2.94、1.05 和 0.11 mg·L$^{-1}$;道路地表径流 TSS、COD、TN、$NH_4^+$-N、$NO_3^-$-N和 TP 事件浓度均值分别为 539.0、276.4、7.00、1.71、1.51 和 0.61 mg·L$^{-1}$. 其中屋面径流主要污染物为 TN、$NH_4^+$-N,道路径流主要污染物为 TSS、COD、TN、TP、$NH_4^+$-N. 由此可以看出,不透水地表的产生,增加了陆地向水体传输物质的强度,特别是增加了对 $NH_4^+$-N和$NO_3^-$-N的传输. 城市化加剧了陆地向水体氮素的输出,加大了水体富营养化的风险.

**表 2 中关村环境保护科技示范园屋面、道路地表径流水质事件平均浓度(EMC)与污染负荷(Load)**

Table 2 Average EMCs and loads of pollutants in roof and road runoff

| 项目 | 降雨日期(月-日) | 降雨量/mm | TSS | | COD | | TN | | $NH_4^+$-N | | $NO_3^-$-N | | TP | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | EMC/mg·L$^{-1}$ | 负荷/kg·hm$^{-2}$ | EMC/mg·L$^{-1}$ | 负荷/kg·hm$^{-2}$ | EMC/mg·L$^{-1}$ | 负荷/kg·hm$^{-2}$ | EMC/mg·L$^{-1}$ | 负荷/kg·hm$^{-2}$ | EMC/mg·L$^{-1}$ | 负荷/kg·hm$^{-2}$ | EMC/mg·L$^{-1}$ | 负荷/kg·hm$^{-2}$ |
| 屋面径流 | 06-13 | 13.6 | 114.5 | 15.3 | 125.3 | 16.8 | 9.72 | 1.30 | 4.06 | 0.54 | 1.23 | 0.17 | 0.18 | 0.02 |
| | 07-09 | 44.8 | 11.6 | 5.2 | 36.2 | 16.3 | 3.29 | 1.48 | 1.69 | 0.76 | 0.88 | 0.40 | 0.07 | 0.03 |
| | 08-04 | 22.4 | 24.6 | 5.6 | 83.5 | 18.9 | 5.19 | 1.17 | 3.07 | 0.69 | 1.05 | 0.24 | 0.06 | 0.01 |
| 道路径流 | 06-13 | 13.6 | 1 355.8 | 174.9 | 669.3 | 86.3 | 15.79 | 2.04 | 2.89 | 0.37 | 2.74 | 0.35 | 1.42 | 0.18 |
| | 07-09 | 44.8 | 76.8 | 33.7 | 59.0 | 25.9 | 2.66 | 1.17 | 1.21 | 0.53 | 1.02 | 0.45 | 0.18 | 0.08 |
| | 08-04 | 22.4 | 184.5 | 38.8 | 100.9 | 21.2 | 2.56 | 0.54 | 1.02 | 0.22 | 0.77 | 0.16 | 0.23 | 0.05 |
| 地表水环境 | Ⅲ类 | | | | ≤20 | | 1.0 | | ≤1.0 | | | | ≤0.2 | |
| 质量标准 | Ⅳ类 | | | | ≤30 | | 1.5 | | ≤1.5 | | | | ≤0.3 | |
| (GB 3838-2002) | Ⅴ类 | | | | ≤40 | | 2.0 | | ≤2.0 | | | | ≤0.4 | |

**2.3** 城市地表径流 COD、TN、TP 与 TSS 的相关性及其形态输出特征

图 8 分别显示了屋面与道路径流 COD、TN、TP 与 TSS 具有不同程度的相关性. 首先,道路径流 COD、TN、TP 与 TSS 的相关性高于屋面径流 COD、TN、TP 与 TSS 的相关性,反映了两类不透水地表径

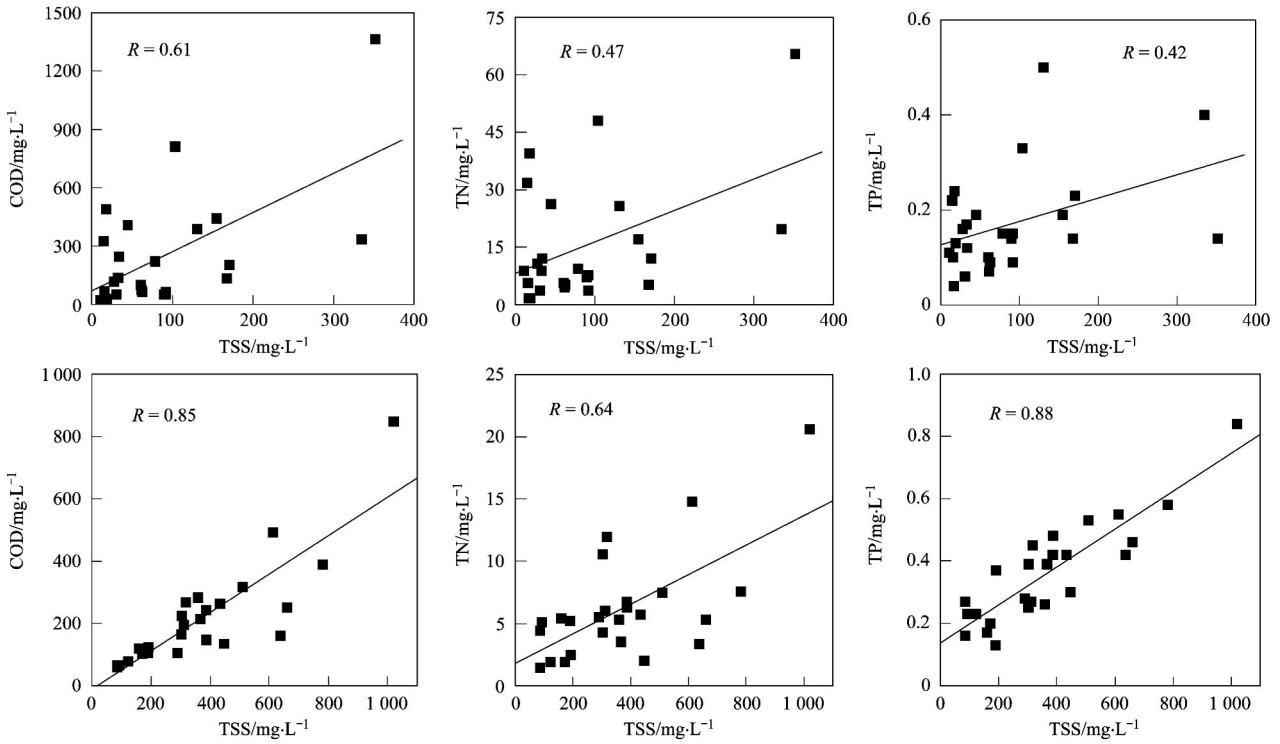


**图 8 城市地表径流 COD、TN、TP 与 TSS 的相关性**

Fig. 8 Relationships between TSS and COD, TN and TP in urban stormwater runoff

流污染来源与组成的差异. 屋面径流污染主要来自大气干沉降和屋面材料自身的风化产物,而道路径流污染除了大气干沉降与自身材料污染累积以外,更为主要的是交通污染、行人丢弃的垃圾以及从周围土地迁移累积的尘土. 其次,对于道路径流而言,COD、TP 与 TSS 的相关性最为显著,明显高于 TN 与 TSS 的相关性. 道路地表径流污染过程主要表现为对地表颗粒物的溶解与冲刷搬运,其中冲刷过程占据主导作用,因而 COD、TP 与 TSS 相关性最为显著,TSS 是道路地表径流污染的主要污染物,而且是其他污染物的载体.

图 9 为 2010 年 6 月 13 日降雨事件屋面和道路径流 COD、氮素和磷素组成的输出过程. 可以看出,无论是屋面还是道路,COD、TN 和 TP 在输出过程中都存在溶解态的组分,但是屋面径流溶解态组分的比例相对高于道路径流,屋面径流污染主要以溶解态为主,路面径流 COD、TP 以颗粒态为主,路面径流氮素的输出以溶解态为主,主要组成为氨氮与硝酸盐. 图 10 是对 3 次降雨事件 COD、TN 和 TP 颗粒态输出特征的统计,屋面径流颗粒态 COD、TN 和 TP 分别占 20.8%、12.3% 和 49.7%,道路径流颗粒态 COD、TN 和 TP 分别占 68.6%、20.0% 和 73.6%. 图 11 是对 3 次降雨事件氮素组成输出特征的统计,屋面径流溶解性氮素占总氮 87.7%,其中$NH_4^+$-N和$NO_3^-$-N分别占 57.6% 和 22.5%,道路径流溶解性氮素占总氮的 80.0%,其中 $NH_4^+$-N 和

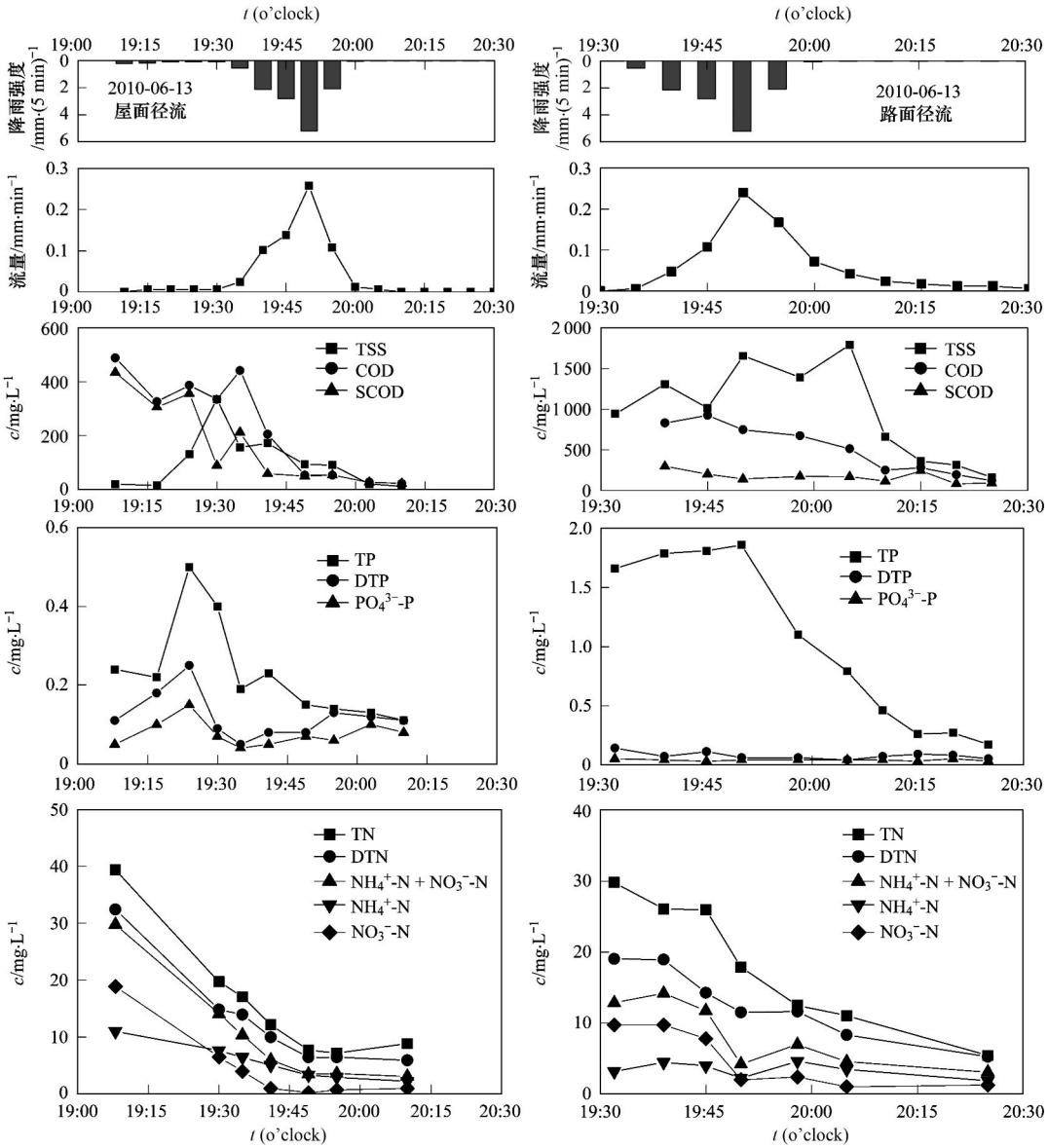


**图 9　屋面与道路地表径流 COD、TN、TP 的形态输出特征**

Fig. 9　Temporal variation of nitrogen and phosphorus composition in roof and road runoff (2010-06-13)

$NO_3^-$-N分别占 42.1% 和 35.0%. 根据地表径流中 COD、TN、TP 的形态组成,在城市地表径流污染控制中应该对屋面径流和道路径流分别处理; 另外目前城市地表径流控制以 TSS 为水质目标,对解决 COD、TP 是有效的,而对 TN 的控制不适合,必须在控制措施设计中考虑$NH_4^+$-N和$NO_3^-$-N的去除.

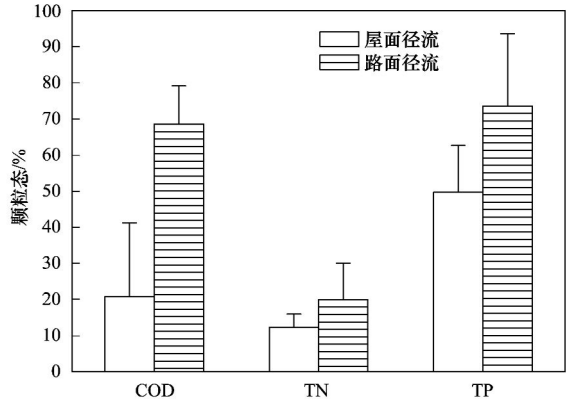


**图 10 城市不透水地表径流 COD、TN 和 TP 颗粒态比例**

Fig. 10 Particle-bound fractions of COD, TN, and TP in roof and road runoff

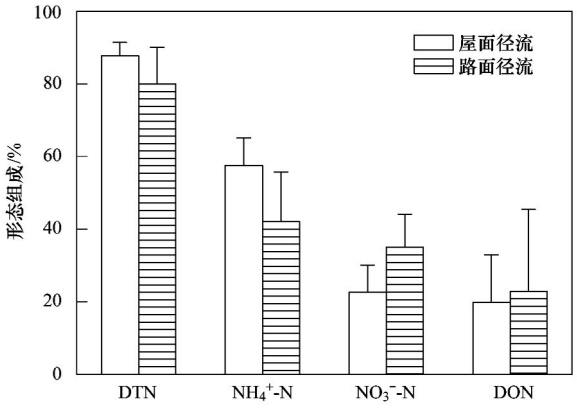


**图 11 城市不透水地表径流氮素污染相对组成**

Fig. 11 Nitrogen composition in roof and road runoff

## 3 结论

(1)北京市新建区典型不透水地表屋面和道路地表径流污染初期冲刷效应显著,屋面径流污染负荷的输出主要集中在初期 10 mm 径流,而道路径流污染负荷的输出主要集中在初期 15 mm 径流.

(2)北京市新建城区屋面、道路地表径流水质整体劣于地表水环境质量标准Ⅴ类. 屋面径流的主要污染物为 TN、$NH_4^+$-N,道路径流主要污染物为 TSS、COD、TN、TP、$NH_4^+$-N. 半干旱地区的北京冬、春两季是污染物的累积潜伏期,春末夏初的前几次降雨是地表径流污染的关键发生期.

(3)屋面径流颗粒态 COD、TN 和 TP 分别占 20.8%、12.3% 和 49.7%,道路径流颗粒态 COD、TN 和 TP 分别占 68.6%、20.0% 和 73.6%. 屋面径流溶解性氮素占总氮 87.7%,其中$NH_4^+$-N和$NO_3^-$-N分别占 57.6% 和 22.5%,道路径流溶解性氮素占总氮的 80.0%,其中$NH_4^+$-N和$NO_3^-$-N分别占 42.1% 和 35.0%. 城市地表径流污染控制应加强对$NH_4^+$-N和$NO_3^-$-N的去除.

**参考文献:**


[1] Burton G A Jr, Pitt R. Stormwater effects handbook: a toolbox for watershed managers, scientists, and engineers[M]. Boca Raton: Lewis Publishers, 2001. 929.

[2] Zgheib S, Moilleron R, Chebbo G. Screening of priority pollutants in urban stormwater: innovative methodology[J]. Water Pollution, 2008, **111**(Ⅸ): 235-244.

[3] Zgheib S, Moilleron R, Chebbo G. Partition of pollution between dissolved and particulate phases: What about emerging substances in urban stormwater catchments? [J]. Water Research, 2011, **45**(2): 913-925.

[4] Bilotta G S, Brazier R E. Understanding the influence of suspended solids on water quality and aquatic biota[J]. Water Research, 2008, **42**(12): 2849-2861.

[5] Riley S P D, Busteed G T, Kats L B, *et al*. Effects of urbanization on the distribution and abundance of amphibians and invasive species in Southern California streams[J]. Conservation Biology, 2005, **19**(6): 1894-1907.

[6] Davis A P, Hunt W F, Traver R G, *et al*. Bioretention technology: overview of current practice and future needs[J]. Journal of Environmental Engineering, 2009, **135**(3): 109-117.

[7] 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.

[8] Diblasi C J, Li H, Davis A P, *et al*. Removal and fate of polycyclic aromatic hydrocarbon pollutants in an urban stormwater bioretention facility[J]. Environmental Science and Technology, 2009, **43**(2): 494-502.

[9] 车武, 欧岚, 汪慧贞, 等. 北京城区雨水径流水质及其主要影响因素[J]. 环境污染治理技术与装备, 2002, **3**(1): 33-37.

[10] 张巍, 张树才, 万超, 等. 北京城市道路地表径流及相关介质中多环芳烃的源解析[J]. 环境科学, 2008, **29**(6): 1478-1483.

[11] 陈莹, 赵剑强, 胡博. 西安市城市主干道路面径流污染及沉淀特性研究[J]. 环境工程学报, 2011, **5**(2): 331-336.

[12] 林莉峰, 李田, 李贺. 上海市城区非渗透性地面径流的污染特性研究[J]. 环境科学, 2007, **28**(7): 1430-1434.

[13] 赵建伟, 单保庆, 尹澄清. 城市旅游区降雨径流污染特征——以武汉动物园为例[J]. 环境科学学报, 2006, **26**

(7)：1062-1067.
[14] 李立青，朱仁肖，郭树刚，等. 基于源区监测的城市地表径流污染空间分异性研究[J]. 环境科学，2010，**31**(12)：2896-2904.
[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] 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.
[17] 黄金良，杜鹏飞，赵冬泉，等. 澳门城市路面地表径流特征分析[J]. 中国环境科学，2006，**26**(4)：469-473.
[18] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. (第四版). 北京：中国环境科学出版社，2002.
[19] Rossman L A. Storm water management model，V5，user's manual [M]. USA：US Environmental Protection Agency，2005.
[20] 董欣，杜鹏飞，李志一，等. SWMM 模型在城市不透水区地表径流模拟中的参数识别与验证[J]. 环境科学，2008，**29**(6)：1495-1501.

# 《环境科学》征稿简则

1. 来稿报道成果要有创新性，论点明确，文字精炼，数据可靠. 全文不超过8 000字(含图、表、中英文摘要及参考文献). 国家自然科学基金项目、国家科技攻关项目、国际合作项目或其它项目请在来稿中注明(在首页以脚注表示). 作者投稿时请先登陆我刊网站(www. hjkx. ac. cn)进行注册，注册完毕后以作者身份登录，按照页面给出的提示信息投稿即可.

2. 稿件请按 GB 7713-87《科学技术报告、学位论文和学术论文的编写格式》中学术论文的规范撰写. 论文各部分的排列顺序为：题目；作者姓名；作者工作单位、地址、邮政编码；中文摘要；关键词；中图分类号；英文题目；作者姓名及单位的英译名；英文摘要；关键词；正文；致谢；参考文献.

3. 论文题目应简练并准确反映论文内容，一般不超过 20 字，少用副标题.

4. 中文摘要不少于 300 字，以第三人称写. 摘要内容包括研究工作的目的、方法、结果(包括主要数据)和结论，重点是结果和结论. 英文摘要与中文对应，注意人称、时态和语言习惯，以便准确表达内容.

5. 前言包括国内外前人相关工作(引文即可)和本工作的目的、特点和意义等. 科普知识不必赘述.

6. 文中图表应力求精简，同一内容不得用图表重复表达，要有中英文对照题目. 图应大小一致，曲线粗于图框，图中所有字母、文字字号大小要统一. 表用三线表. 图表中术语、符号、单位等应与正文一致.

7. 计量单位使用《中华人民共和国法定计量单位》(SI). 论文中物理计量单位用字母符号表示，如 mg(毫克)，m(米)，h(小时)等. 科技名词术语用国内通用写法，作者译的新名词术语，文中第一次出现时需注明原文.

8. 文中各级标题采用 1，1. 1，1. 1. 1 的形式，左起顶格书写，3 级以下标题可用(1)，(2)……表示，后缩 2 格书写.

9. 文中外文字母、符号应标明其大小写，正斜体. 生物的拉丁学名为斜体. 缩略语首次出现时应给出中文全称，括号内给出英文全称和缩略语.

10. 未公开发表资料不列入参考文献，可在出现页以脚注表示. 文献按文中出现的先后次序编排. 常见文献书写格式为：

**期刊**：作者(外文也要姓列名前). 论文名[J]. 期刊名，年，卷(期)：起页-止页.

**图书**：作者. 书名[M]. 出版地：出版社，年. 起页-止页.

**会议文集**：作者. 论文名[A]. 见(In)：编者. 文集名[C]. 出版地：出版社(单位)，年. 起页-止页.

**学位论文**：作者. 论文名[D]. 保存地：保存单位，年份.

**报告**：作者. 论文名[R]. 出版地：出版单位，出版年.

**专利**：专利所有者. 专利题名[P]. 专利国别：专利号，出版日期.

11. 来稿文责自负，切勿一稿多投. 编辑对来稿可作文字上和编辑技术上的修改和删节. 在 3 个月内未收到本刊选用通知，可来电询问.

12. 投稿请附作者单位详细地址，邮编，电话号码，电子邮箱等. 编辑部邮政地址：北京市 2871 信箱；邮编：100085；电话：010-62941102，010-62849343；传真：010-62849343；E-mail：hjkx@ rcees. ac. cn；网址：www. hjkx. ac. cn

# HUANJING KEXUE

Environmental Science (monthly)

Vol. 33 No. 11

Nov. 15, 2012


## 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, *et al.* (3693)

Characteristics of Atmospheric Pollutants in Cangzhou ··· WANG Yong-hong, HU Bo, WANG Yue-si, *et al.* (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, *et al.* (3712)

BTX Monitoring Nearby Main Road Traffic in Guangzhou ··· YE Cong-lei, XIE Pin-hua, QIN Min, *et al.* (3718)

Dynamic Road Vehicle Emission Inventory Simulation Study Based on Real Time Traffic Information ··· HUANG Cheng, LIU Juan, CHEN Chang-hong, *et al.* (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, *et al.* (3733)

Spatial Variations of Biogenic Elements in Coastal Wetland Sediments of the Jiulong River Estuary ··· YU Xiao-qing, YANG Jun, LIU Le-mian, *et al.* (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, *et al.* (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, *et al.* (3760)

Distribution and Sources of Arsenic in Yangzonghai Lake, China ··· ZHANG Yu-xi, XIANG Xiao-ping, ZHANG Ying, *et al.* (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, *et al.* (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, *et al.* (3804)

Effect of the Subsurface Constructed Wetland Evolution into Free Surface Flow Constructed Wetland on the Removal of Organic Matter, Nitrogen, and Phosphor 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, *et al.* (3820)

Degradation of $\beta$-Naphthol by Catalytic Wet Air Oxidation ··· LIU Jie, YU Chao-ying, ZHAO Pei-qing, *et al.* (3826)

Degradation of 2,4-Dichlorophenol in Aqueous Solution by ZVI/EDDS/Air System ··· SUN Qian, ZHOU Hai-yan, CAO Meng-hua, *et al.* (3833)

Study on Photocatalytic Degradation of 1,2,3-Trichlorobenzene Using the Microwaved MWNTs/$TiO_2$ Composite ··· SHI Zhou, ZHANG Qian, ZHANG Wei, *et al.* (3840)

Mechanism of Cr(Ⅵ) Removal from Aqueous Solution Using Biochar Promoted by Humic Acid ··· DING Wen-chuan, TIAN Xiu-mei, WANG Ding-yong, *et al.* (3847)

Research on the Treatment of Wastewater Containing PVA by Ozonation-Activated Sludge Process ··· XING Xiao-qiong, HUANG Cheng-lan, LIU Min, *et al.* (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, *et al.* (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, *et al.* (3868)

Evolution of Leachate Quantity and Quality in the Anaerobic-semiaerobic Bioreactor Landfill ··· HAN Zhi-yong, LIU Dan, LI Qi-bin, *et al.* (3873)

National Survey of Urban Sewage Reuse in China ··· GUO Yu-jie, WANG Xue-chao, ZHOU Zhen-min (3881)

Sorption and Desorption of 17$\alpha$-Ethinyl Estradiol and 4-*n*-Nonylphenol in Soil ··· JIANG Lu, WANG Ji-hua, LI Jian-zhong, *et al.* (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, *et al.* (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, *et al.* (3905)

Investigation on Mechanism of Pyrite Oxidation in Acidic Solutions ··· WANG Nan, YI Xiao-yun, DANG Zhi, *et al.* (3916)

Monitoring of Water and Salt Transport in Silt and Sandy Soil During the Leaching Process ··· FU Teng-fei, JIA Yong-gang, GUO Lei, *et al.* (3922)

Simulation on Remediation of Benzene Contaminated Groundwater by Air Sparging ··· FAN Yan-ling, JIANG Lin, ZHANG Dan, *et al.* (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, *et al.* (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, *et al.* (3941)

Isolation, Identification and Characterization of Halotolerant Petroleum-degrading Bacteria ··· WU Tao, XIE Wen-jun, YI Yan-li, *et al.* (3949)

Growth Kinetics and Phenol Degradation of Highly Efficient Phenol-degrading *Ochrobactrum* sp. CH10 ··· CHEN Xiao-hua, WEI Gang, LIU Si-yuan, *et al.* (3956)

Isolation of Aerobic Degrading Strains for TBBPA and the Properties of Biodegradation ··· QIAN Yan-yuan, LIU Li-li, YU Xiao-juan, *et al.* (3962)

Influences of Long-term Application of Organic and Inorganic Fertilizers on the Composition and Abundance of *nirS*-type Denitrifiers in Black Soil ··· YIN Chang, FAN Fen-liang, LI Zhao-jun, *et al.* (3967)

Characteristics and Influencing Factors of Trichloroethylene Adsorption in Different Soil Types ··· HE Long, QIU Zhao-fu, LÜ Shu-guang, *et al.* (3976)

Degradation of Carbendazim 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 Unert Atmosphere ··· JI Sha-sha, LI Xiao-dong, XU-Xu, *et al.* (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 Chloralkane and Chloroalkene ··· WEN Xiao-gang, LIU Rui, CAI Qiang, *et al.* (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, *et al.* (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, *et al.* (4033)

Selective Detection of Viable Pathogenic Bacteria in Water Using Reverse Transcription Quantitative PCR ··· LIN Yi-wen, LI Dan, WU Shu-xu, *et al.* (4040)

Formation of Disinfection By-products: Temperature Effect and Kinetic Modeling ··· ZHANG Xiao-lu, YANG Hong-wei, WANG Xiao-mao, *et al.* (4046)

A Novel Quantitative Approach to Study Dynamic Anaerobic Process at Micro Scale ··· ZHANG Zhong-liang, WU Jing, JIANG Jian-kai, *et al.* (4052)

Leaves of *Platanus orientalis* as the Carbon Source for Denitrification ··· XIONG Jian-feng, XU Hua, YAN Ning, *et al.* (4057)

Isolation, Charcaterization of an Anthracene Degrading Bacterium *Martelella* sp. AD-3 and Cloning of Dioxygenase Gene ··· CUI Chang-zheng, FENG Tian-cai, YU Ya-qi, *et al.* (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）<br>北京市环境保护科学研究院<br>清 华 大 学 环 境 学 院 | **Co-Sponsored** by | Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection<br>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<br>北京市 2871 信箱（海淀区双清路 18 号，邮政编码：100085）<br>电话：010-62941102，010-62849343<br>传真：010-62849343<br>E-mail：hjkx@ rcees. ac. cn<br>http://www. hjkx. ac. cn | **Edited** by | The Editorial Board of Environmental Science（HUANJING KEXUE）<br>P. O. Box 2871, Beijing 100085, China<br>Tel：010-62941102, 010-62849343；Fax：010-62849343<br>E-mail：hjkx@ rcees. ac. cn<br>http://www. hjkx. ac. cn |
| 出　　版 | 科 学 出 版 社<br>北京东黄城根北街 16 号<br>邮政编码：100717 | **Published** by | Science Press<br>16 Donghuangchenggen North Street,<br>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<br>电话：010-64017032<br>E-mail：journal@ mail. sciencep. com | **Distributed** by | Science Press<br>Tel：010-64017032<br>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<br>（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 行