

DOI:10. 3880/j. issn. 1004 - 6933. 2017. 05. 025

天津典型居民区不同下垫面雨水径流污染特征

许 伟,常素云,占 强

(天津市水利科学研究院,天津 300061)

摘要:在对天津典型居民区域的不同下垫面雨水径流水质进行监测的基础上,以典型降雨为例,探讨了雨水径流污染物的特征和事件平均浓度(event mean concentrations, EMC)。结果表明,天津典型居民区主干道和菜市场雨水径流中的污染物质量浓度随着降雨历时的延续呈降低趋势,冲刷效应明显;屋顶雨水径流中污染物的质量浓度随降雨历时的延续变化较小,冲刷效应较弱。3 种下垫面雨水径流中污染物质量浓度大小差异明显,菜市场和主干道雨水径流中 SS 质量浓度相差不大,且都远远超过屋顶雨水径流;雨水径流中 COD 和 TP 质量浓度的顺序由大到小依次为菜市场、主干道、屋顶;雨水径流中 TN 质量浓度的顺序由大到小依次为菜市场、屋顶、主干道。以 EMC 中值计,菜市场雨水径流中污染物平均浓度要高于主干道和屋顶,菜市场雨水径流中 TP 的质量浓度是主干道的 3 倍、屋顶的 24 倍。天津典型居民区雨水径流污染比较严重,如不经截留或处理直接排入城市河道等接纳水体,会严重影响河道的水质和城市的环境。

关键词:雨水径流;不同下垫面;污染特征;事件平均浓度;天津

中国分类号:X522 **文献标志码:**A **文章编号:**1004 - 6933(2017)05 - 0159 - 05

Runoff pollution characteristics under different underlying surfaces of typical residential areas in Tianjin City

XU Wei, CHANG Suyun, ZHAN Qiang

(Tianjin Hydraulic Research Institute, Tianjin 300061, China)

Abstract: Based on the monitoring on runoff water quality under different underlying surfaces of typical residential areas in Tianjin, typical rainfall was chosen to investigate the characteristics of runoff pollutants and event mean concentration (EMC). The results show that the pollution mass concentration in runoff of main roads and markets decreases with the rainfall duration and the scouring effect is obvious. The pollution concentration in runoff of roofs changes slightly with the rainfall duration and the scouring effect is weak. There are significant differences between the pollution concentrations in runoff of three kinds of underlying surfaces. The SS concentration in runoff of main roads is similar to that of markets, but much higher than that of roofs. The COD and TP concentrations in runoff ranking from high to low are markets, main roads, and roofs, and the TN concentration in runoff ranking from high to low is markets, roofs, and main roads. Suppose EMC is defined as the mid-value, the mean pollutant concentration in runoff of markets is higher than that of main roads and roofs, and the TP concentration in runoff of markets is 3 times that of main roads and 24 times that of roofs. So the runoff pollution in typical residential areas of Tianjin City is quite serious. The water quality in rivers and water environment of the City will be strongly influenced if the runoff is directly drained into rivers without any interception or treatment.

Key words: runoff; different underlying surfaces; pollution characteristic; event mean concentration; Tianjin City

基金项目:水利部公益性行业科研专项(201401047);天津市水务局科技处项目(KY2014-02);水利部“948”项目(201515)
作者简介:许伟(1982—),男,工程师,博士,主要从事水环境保护研究。E-mail:xw@tjhri.com
通信作者:常素云,高级工程师。E-mail:csy@tjhri.com

近年来,由于城市化进程的不断加快以及城市人口的不断增加,城市大气和屋面、路面、绿地等各类城市下垫面的污染程度不断加剧。一旦降雨来临,大量的污染物随着大气湿沉降和城市雨水径流进入城市排水管网并可能汇入城市内河、内湖等受纳水体,对其造成严重的污染和破坏。城市雨水径流已经成为造成城市水体污染和水质恶化的主要原因之一^[1-4]。因此,为了对城市雨水径流污染进行有效的管理控制,必须准确掌握其各类污染特征。

前人的研究主要针对屋面、路面和草地进行了雨水径流水质的监测和分析^[5-7],很少把菜市场单独作为一种下垫面来进行雨水径流分析研究,而露天菜市场作为城市典型居民区必不可少的一个组成部分,应对其雨水径流水质进行监测和分析。为此,本文对天津市典型居民区的屋面、主干道和菜市场的雨水径流污染进行特征分析,并通过对雨水径流事件平均浓度(event mean concentration, EMC)的探讨,以期为城市雨水径流污染的削减和控制提供参考和依据。

1 研究区概况与样品采集

1.1 研究区概况

天津市河东区中山门街道面积 2.38 km²,人口 8 万多,该区域属于城市典型居民区,内有住宅小区、学校、露天菜市场、商店、公园等,人员密集,车流量较大,绿地面积较小。本文主要针对该区域内屋顶和路面进行了雨水径流采样,其中路面又被细分为主干道和菜市场。主干道雨水径流采样点 A1 和 A2 分别位于津塘路辅路和虎丘路,屋顶雨水径流采样点 B1 和 B2 分别位于团结东里小区和友爱东里小区,菜市场雨水径流采样点 C1 和 C2 位于中山门三号路上,具体采样点分布见图 1。

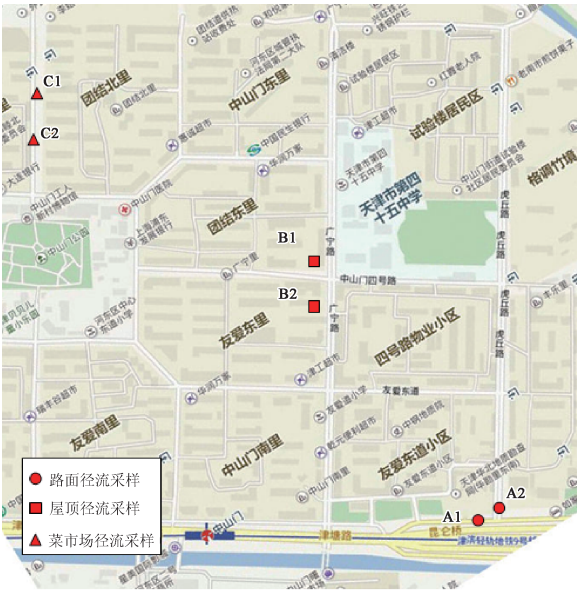


图 1 研究区域采样点分布

天津市地处中纬度欧亚大陆东岸,属于半干旱大陆性季风气候,85% 的降水量集中在 6—9 月,市区及周围近郊的多年平均降雨量 500 mm 左右。本研究在 2015 年雨季共监测降雨 9 次,获得 5 次有效数据,表 1 给出了研究期间典型降雨的基本特征。

表 1 研究期间典型降雨的基本特征

降雨日期	降雨量/mm	降雨历时/h	前期晴天数/d
2015 年 5 月 10 日	24.4	7	4
2015 年 6 月 29 日	3.2	6	3
2015 年 7 月 19 日	14.8	7	1
2015 年 7 月 29 日	6.2	2	2
2015 年 8 月 31 日	43.4	6	3

1.2 样品采集

当路面(主干道和菜市场)开始形成径流时,用样品桶直接在雨水井口收集第一个水样,然后根据降雨强度大小和历时变化进行必要调整:降雨强度中等或较大时,10 min 取样 1 次;降雨强度较小时,20~30 min 取样 1 次。当屋面形成径流后,在建筑物的雨落管处开始收集第一个水样,同样根据降雨强度的大小和历时变化调整采样。取样的过程中,结合安装在采样点附近的锦州利诚生产的 JLC-YLZ1 型自动雨量站同步记录降雨特征。样品采集完成后,送入实验室进行检测分析。

COD 采用重铬酸钾法(GB 11914—89)测定,TP 采用钼酸铵分光光度法(GB 11893—89)测定,TN 采用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法(HJ 636—2012)测定,SS 采用重量法(GB 11901—89)测定。

2 结果与讨论

2.1 雨水径流污染特征

2.1.1 SS

受道路自身条件、路面清扫频率和前期晴天数等不确定因素的影响,路面初期雨水径流中 SS 质量浓度变化较大^[8]。2015 年 5 次降雨事件中主干道初期雨水径流中 SS 的质量浓度为 550~1 200 mg/L,菜市场初期雨水径流中 SS 的质量浓度为 530~1 100 mg/L,屋顶初期雨水径流中 SS 的质量浓度为 13~115 mg/L。由此可见,主干道和菜市场初期雨水径流中 SS 的质量浓度较高,而屋顶初期雨水径流中 SS 质量浓度相对较低。以 5 月 10 日降雨事件为例,3 种不同下垫面雨水径流中 SS 的质量浓度变化见图 2。

从图 2 可以看出,主干道和菜市场雨水径流中 SS 的质量浓度远高于屋顶雨水径流中的质量浓度,主干道和菜市场的 SS 主要是大气沉降以及交通

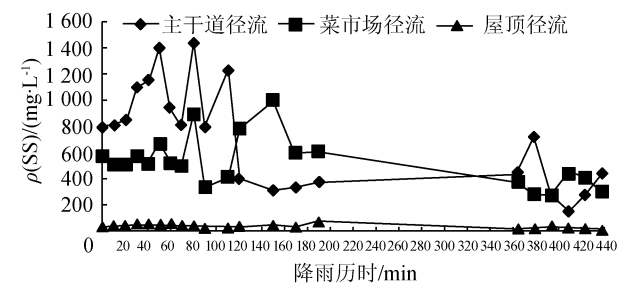


图2 5月10日降雨过程中3种下垫面雨水径流中SS质量浓度变化

等人为因素带入的固体物质,而屋面上受人为因素干扰较小,颗粒物主要来源于大气沉降,SS的质量浓度较低。主干道和菜市场雨水径流中SS质量浓度初期较高,随着降雨的冲刷逐渐降低,主干道雨水径流中SS的质量浓度从794 mg/L降低到439 mg/L,菜市场雨水径流中SS的质量浓度从566 mg/L降低到306 mg/L,而屋顶雨水径流中SS的质量浓度在整个降雨过程中变化不大,保持在20~70 mg/L。

2.1.2 COD

2015年5次降雨事件中主干道初期雨水径流中COD的质量浓度为470~700 mg/L,菜市场初期雨水径流中COD的质量浓度为270~1450 mg/L,屋顶初期雨水径流中COD的质量浓度为48~230 mg/L。以5月10日降雨事件为例,3种不同下垫面雨水径流中COD的质量浓度变化见图3。

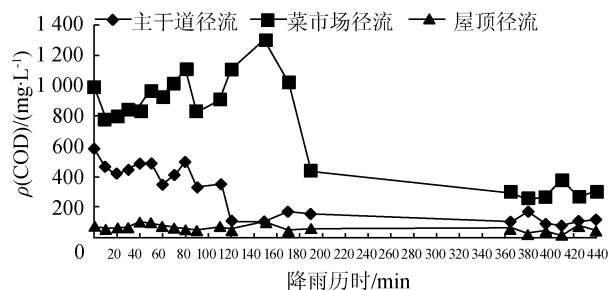


图3 5月10日降雨过程中3种下垫面雨水径流中COD质量浓度变化

从图3可以看出,3种下垫面雨水径流中COD质量浓度的顺序由大到小依次为菜市场、主干道、屋顶。主干道和菜市场雨水径流中COD的质量浓度初期较高,且随着降雨的冲刷逐渐降低;屋顶雨水径流中COD的质量浓度随着降雨的冲刷有一定的降低,但是冲刷效果不是很明显。曹宏宇等^[9]研究发现,大部分降雨事件中路面径流的TN、TP和COD均有明显的初期效应,而屋面径流的初期效应相对较弱,与本研究结论一致。

5月10日降雨事件中,菜市场、主干道和屋顶初期雨水径流中COD的质量浓度分别为991 mg/L、582 mg/L和77 mg/L,分别是GB 3838—2002《地表

水环境质量标准》V类标准(40 mg/L)的24.8倍、14.6倍、1.9倍。降雨末期,菜市场、主干道和屋顶雨水径流中COD的质量浓度相对较低,但也超过GB 3838—2002《地表水环境质量标准》V类标准,分别为298 mg/L、116 mg/L和44 mg/L。

2.1.3 TN

2015年5次降雨事件中主干道初期雨水径流中TN的质量浓度为2~20 mg/L,菜市场初期雨水径流中TN的质量浓度为13~42 mg/L,屋顶初期雨水径流中TN的质量浓度为6~29 mg/L。以5月10日降雨事件为例,3种不同下垫面雨水径流中TN的质量浓度变化见图4。

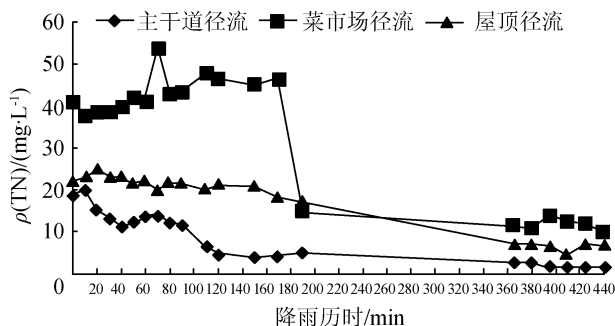


图4 5月10日降雨过程中3种下垫面雨水径流中TN质量浓度变化

从图4可以看出,3种下垫面雨水径流中TN质量浓度随着降雨的冲刷逐渐降低,其由大到小的顺序依次为菜市场、屋顶、主干道。由此可见,跟雨水径流中COD质量浓度分布不同的是屋顶雨水径流中TN质量浓度比主干道大,任玉芬等^[5]的相关研究也表明屋顶径流中TN质量浓度比路面径流大。

由图4可以看出,5月10日降雨事件中,菜市场、主干道和屋顶初期雨水径流中TN的质量浓度远超过GB 3838—2002《地表水环境质量标准》V类标准(2.0 mg/L)。而降雨末期,主干道雨水径流中TN的质量浓度为1.74 mg/L,达到GB 3838—2002《地表水环境质量标准》V类标准,而菜市场 and 屋顶雨水径流中TN的质量浓度分别为10.18 mg/L和6.88 mg/L,是GB 3838—2002《地表水环境质量标准》V类标准的5.1倍和3.4倍。

2.1.4 TP

2015年5次降雨事件中主干道初期雨水径流中TP的质量浓度为0.6~4.5 mg/L,菜市场初期雨水径流中TP的质量浓度为2.3~8.7 mg/L,屋顶初期雨水径流中TP的质量浓度为0.1~0.3 mg/L。以5月10日降雨事件为例,3种不同下垫面雨水径流中TP的质量浓度变化见图5。

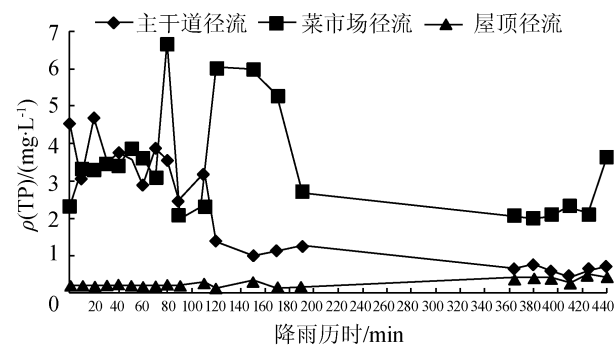


图5 5月10日降雨过程中3种下垫面雨水径流中TP质量浓度变化

从图5可以看出,5月10日降雨过程中,在降雨开始后110 min内,菜市场 and 主干道雨水径流中TP的质量浓度相差不大,这可能是降雨后110 min内雨量较小(累积降雨量0.8 mm)导致冲刷效果不明显。总体来讲,3种下垫面雨水径流中TP质量浓度的顺序由大到小依次为菜市场、主干道、屋顶。主干道和菜市场雨水径流中TP的质量浓度随着降雨的冲刷逐渐降低,而屋顶雨水径流中TP的质量浓度在整个降雨过程中变化不大。

在5月10日降雨事件中,屋顶雨水径流中TP的质量浓度为0.17~0.45 mg/L,除个别时间段屋顶雨水径流中TP的质量浓度大于0.4 mg/L外,其余大部分时间内屋顶雨水径流中TP的质量浓度小于0.4 mg/L,达到GB 3838—2002《地表水环境质量标准》V类标准(0.4 mg/L)。而在整个降雨过程中,菜市场 and 主干道雨水径流中TP的质量浓度超过GB 3838—2002《地表水环境质量标准》V类标准,降雨末期,菜市场 and 主干道雨水径流中TP的质量浓度分别为3.64 mg/L和0.69 mg/L,是GB 3838—2002《地表水环境质量标准》V类标准的9.1倍和1.7倍。

2.2 EMC

由于降雨事件的随机性和不确定性,雨水径流中的污染物质量浓度也是在不断的变化,EMC是以流量为权求得1次降雨事件的径流平均浓度,可以更加准确地表征雨水径流的污染负荷^[10],从而获得对降雨事件中雨水径流污染严重程度的准确判断。EMC是以降雨事件中污染物负荷与总径流体积比值来表征径流污染,计算公式为

$$\rho_{EMC} = \frac{M}{V} \quad (1)$$

$$\text{其中 } M = \int_0^T \rho(t) Q(t) dt \quad V = \int_0^T Q(t) dt$$

式中: ρ_{EMC} 为EMC值,mg/L; M 为污染物的质量,mg; V 为径流体积,L; $\rho(t)$ 为随时间 t 变化的污染物质量浓度,mg/L; $Q(t)$ 为随时间 t 变化的雨水径流量,L/min; T 为总径流时间,min。

受实验设备和采样人员等多方面的限制,本研究未能实测不同采样点的雨水径流流量,所以在采样过程中记录了降雨开始和径流形成的时间,通过扣除该时间差来确保降雨量和雨水径流的对应关系;此外,本研究的3个下垫面均为非渗透性表面,可以在计算分析时忽略采样期间的入渗量和蒸发量。因此,径流产生后的累积降雨量与对应的雨水径流量基本呈正比关系,可以选用累积降雨量来代替雨水径流量来计算径流污染物的EMC^[6,11]。表2给出了2015年5次降水3种下垫面雨水径流污染物的EMC计算结果。

从表2可以看出,以EMC中值计,3种不同下垫面雨水径流中的4种污染物浓度大小顺序与2.1节中讨论的5月10日降雨结果相同;且菜市场雨水径流中污染物的浓度要远高于主干道和屋顶,以雨水径流中TP的质量浓度为例,菜市场雨水径流中TP的质量浓度是主干道的3倍,屋顶的24倍。

就COD而言,天津典型居民区屋顶COD的EMC中值为62.43 mg/L,高于我国南京、上海、昆明等城市的屋面径流污染程度,但是显著低于北京相关报道的数值^[5-6,12-14];主干道COD的EMC中值为189.67 mg/L,与南京的路面径流污染水平非常接近,低于北京和广州的相关数据^[5,7,15]。

整体而言,天津典型居民区3种下垫面径流中SS的EMC值超出GB 18918—2002《城镇污水处理厂污染物排放标准》中二级标准(30 mg/L);除屋顶雨水径流中的TP外,3种下垫面径流中COD、TN和TP的EMC值均超过GB 3838—2002《地表水环境质量标准》V类标准。由此可见,天津典型居民区雨水径流污染严重,可能是城市水体的重要污染源。

3 结 论

a. 天津市区典型居民区主干道和菜市场雨水

表2 2015年5次降水3种下垫面雨水径流中污染物EMC值计算结果

下垫面	ρ_{EMC} (SS)		ρ_{EMC} (COD)		ρ_{EMC} (TN)		ρ_{EMC} (TP)	
	范围	中值	范围	中值	范围	中值	范围	中值
主干道	136.33~1151.13	479.81	37.82~778.84	189.67	1.87~17.88	3.7	0.35~4.42	1.02
菜市场	293.25~1413.24	441.235	73.00~1545.75	491.09	4.40~50.73	14.51	1.12~10.77	3.22
屋顶	10.34~217.05	33.48	21.98~163.28	62.43	3.64~23.70	8.27	0.05~0.60	0.13

径流中的污染物浓度大多在初期较大,随着降雨历时的延续,污染物浓度呈降低趋势,具有较为明显的冲刷效应;而屋顶径流中污染物的浓度随降雨历时的延续变化较小,冲刷效应较弱。

b. 3种下垫面径流中污染物浓度大小差异比较明显。菜市场 and 主干道径流中SS质量浓度相差不大,且远超过屋顶径流中浓度;雨水径流中COD和TP质量浓度的顺序由大到小依次为菜市场、主干道、屋顶;雨水径流中TN质量浓度的顺序由大到小依次为菜市场、屋顶、主干道。

c. 以EMC中值计,菜市场雨水径流污染物平均浓度要高于主干道和屋顶,2015年5次降水菜市场雨水径流中TP的质量浓度是主干道的3倍,屋顶的24倍。

d. 天津市典型居民区雨水径流污染比较严重,如不经截留或处理直接排入城市河道等接纳水体,会严重影响河道的水质和城市的环境。

参考文献:

[1] MCLEOD S, KELLS J, PUTZ G. Urban runoff quality characterization and load estimation in Saskatoon, Canada [J]. Journal of Environmental Engineering, 2006, 132 (11):1470-1481.

[2] LI Y X, MA J H, YANG Z F, et al. Influence of non-point source pollution on water quality of Wetland Baiyangdian, China [J]. Desalination and Water Treatment, 2011, 32 (1/2/3):291-296.

[3] ZHANG W, CHE W, LIU D K, et al. Characterization of runoff from various urban catchments at different spatial scales in Beijing, China [J]. Water Science and Technology, 2012, 66(1):21-27.

[4] 荆红卫, 华蕾, 陈圆圆, 等. 城市雨水管网降雨径流污染特征及对接纳水体水质的影响 [J]. 环境化学, 2012, 31 (2): 208-215. (JING Hongwei, HUA Lei, GHEN Yuanyuan, et al. Pollution characteristics of runoff in urban storm sewer and its impaction to receiving water [J]. Environmental Chemistry, 2012, 31 (2): 208-215. (in Chinese))

[5] 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. (REN Yufen, WANG Xiaoke, HAN Bing, et al. Chemical analysis on stormwater runoff pollution of different underlying urban surfaces [J]. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25 (12): 3225-3230. (in Chinese))

[6] 李贺, 李田, 李彩艳. 上海市文教区屋面径流水质特性研究 [J]. 环境科学, 2008, 29 (1): 47-51. (LI He, LI Tian, LI Caiyan. Research on the characteristics of urban roof runoff in Shanghai Cultural and Educational Area [J]. Environmental Science, 2008, 29 (1): 47-51. (in

Chinese))

[7] 徐明, 李贺, 傅大放. 高速公路路面雨水径流污染物出流规律研究 [J]. 安徽农业科学, 2012, 40 (7): 4178-4179. (XU Ming, LI He, FU Dafang. Study on the flow rules of highway rainwater runoff pollutants [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2012, 40 (7): 4178-4179. (in Chinese))

[8] 冯伟, 王建龙, 车伍. 不同地表雨水径流冲刷特性分析 [J]. 环境工程学报, 2012, 6(3): 817-822. (FENG Wei, WANG Jianlong, CHE Wu. Analysis on characteristics of stormwater runoff flush on different land surfaces [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2012, 6 (3): 817-822. (in Chinese))

[9] 曹宏宇, 黄申斌, 李娟英, 等. 上海临港新城初期地表径流污染特性与初期效应研究 [J]. 水资源与水工程学报, 2011, 22 (6): 66-71. (CAO Hongyu, HUANG Shenbin, LI Juanying, et al. Research on pollution characteristics and initial effect of surface runoff in Lingang new city of Shanghai [J]. Journal of Water Resources and Water Engineering, 2011, 22 (6): 66-71. (in Chinese))

[10] United States Environmental Protection Agency. Results of the nationwide urban runoff program [R]. Washington D C; United States Environmental Protection Agency, 1983.

[11] 张科峰, 李贺, 傅大放, 等. 三种不同屋面雨水径流重金属污染特性及影响因素分析 [J]. 环境科学学报, 2011, 31(4): 724-730. (ZHANG Kefeng, LI He, FU Dafang, et al. Characteristics of heavy metal pollution in runoff from three different types of roofs [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2011, 31(4): 724-730. (in Chinese))

[12] 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. (CHE Wu, LIU Yan, LI Junqi. Urban waterstorm quality and pollution control at home and abroad [J]. Water and Wastewater Engineering, 2003, 29(10): 38-42. (in Chinese))

[13] 刘守城, 何兆芳, 张烨, 等. 屋面雨水径流水质特性研究 [J]. 环境科技, 2012, 25 (6): 28-31. (LIU Shoucheng, HE Zhao Fang, ZHANG Ye, et al. Research on the characteristics of urban roof runoff [J]. Environmental Science and Technology, 2012, 25(6): 28-31. (in Chinese))

[14] 赵磊, 杨逢乐, 王俊松, 等. 合流制排水系统降雨径流污染物的特性及来源 [J]. 环境科学学报, 2008, 28(8): 1561-1570. (ZHAO Lei, YANG Fengle, WANG Junsong, et al. Characterization of storm-water pollutant sources in a combined sewer network [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2008, 28(8): 1561-1570. (in Chinese))

[15] GAN H Y, ZHUO M N, LI D Q, et al. Quality characterization and impact assessment of highway runoff in urban and rural area of Guanzhou, China [J]. Environmental Monitoring Assessment, 2008, 140(1/3): 147-159.

(收稿日期:2016-10-03 编辑:王 芳)