

文章编号: 1005-0523(2021)02-0136-06

南方某高校降雨径流面源污染研究

童祯恭, 付龙望, 李俊

(华东交通大学土木建筑学院, 江西 南昌 330013)

摘要: 为了掌握各下垫面污染物的历时变化规律, 以南昌市某高校为研究区域, 选取学校主干道、学生宿舍区主干道、学校休闲广场及学生宿舍屋顶 4 种下垫面, 针对单一降雨事件, 对不同下垫面的 SS, COD, TN 及 TP 污染物随降雨时间的变化规律进行分析, 了解污染物随降雨历时的变化过程。结果表明, 不同下垫面、不同场次降雨的水质变化范围和变化规律均有所不同, 降雨径流污染物浓度整体上呈衰减态势, 且前期衰减速率较快, 后期衰减速率较为平缓; 分析得出了 4 种不同下垫面降雨径流中的主要污染物。

关键词: 降雨径流; 下垫面; 面源污染

中图分类号: X52 **文献标志码:** A

本文引用格式: 童祯恭, 付龙望, 李俊. 南方某高校降雨径流面源污染研究[J]. 华东交通大学学报, 2021, 38(2): 136-141.

DOI: 10.16749/j.cnki.jecjtu.2021.02.003

Research on a Southern College Urban Rainfall-Runoff Non-point Source Pollution

Tong Zhengong, Fu Longwang, Li Jun

(School of Civil Engineering and Architecture, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: In order to grasp the diachronic variation law of the underlying surface pollutants, taking a university in Nanchang City as the research area, this study selected the main road of the school, the main road of the student dormitory area, the leisure square of the school and the roof of the student dormitory as the four underlying surfaces. For a single rainfall event, it analyzed the variation of SS, COD, TN and TP pollutants on different underlying surfaces with rainfall time to understand the variation process of pollutants with rainfall duration. The results show that the water quality variation range and variation rules of different underlying surfaces and different rainfall events are different, the concentration of pollutants in rainfall runoff is generally attenuating, and the attenuation rate is relatively fast in the early stage and relatively flat in the later stage; The main pollutants in rainfall runoff of four different underlying surfaces are analyzed.

Key words: rainfall runoff; underlying surface; non-point source pollution

Citation format: TONG Z G, FU L W, LI J. Research on a southern college urban rainfall-runoff non-point source pollution[J]. Journal of East China Jiaotong University, 2021, 38(2): 136-141.

收稿日期: 2021-03-16

基金项目: 江西省重点研发计划一般项目(20192BBGL70046); 江西省 2020 年度研究生创新专项资金项目(YC2020-S362)

作者简介: 童祯恭(1972—), 男, 教授, 博士, 研究方向为给水处理理论与技术。E-mail: zzzggt@126.com.

随着经济的发展,我国城镇化、工业化进程持续加速,水体污染已经成为一个非常严峻的环境问题^[1]。这已经严重影响了人们的生活,同时成为了环保和可持续发展的重要问题^[2]。降雨径流面源污染是水体污染的重要原因之一,控制降雨径流面源污染对水环境的改善具有重要意义,因此非常有必要对其进行研究。

国内外许多学者都对降雨径流污染进行了研究,包括化学需氧量(COD),生化需氧量(BOD),悬浮颗粒物(SS),重金属等多种指标^[3-6]。古玉等^[7]对武汉市汉阳区5种不同下垫面不同场次降雨径流进行取样监测,研究结果表明,该城区主干道、支路及绿地径流COD,总氮(TN)污染程度劣于Ⅲ类水体水质标准。周志鹏等^[8]通过对研究区域连续进行为期半年的降雨监测,从中选择常见的3种基本雨型(双峰型、前峰型、后峰型)条件进行水体中常规污染物的浓度分析,并为典型南方降雨径流控制措施的制定提供理论指导。高斌等^[9]通过开展实验观测,根据采集的降雨场次径流污染数据,计算和分析其研究区域不同类型小区降雨径流特征并估算污染负荷。张士官^[10]选取其研究区域典型降雨雨水径流水质进行监测取样,分析监测水样污染物浓度变化规律,总结径流污染物分布特征。焦春蛟^[11]对研究区域降雨径流水质进行监测,并对污染物浓度水平进行分析。张志强^[12]以平原城市衡水为典型区域,选取屋面、沥青路面、水泥路面等不透水下垫面为研究区域,对2017年6—8月3场降雨产生的有效径流为研究对象,对径流中的总悬浮固体(TSS),总磷(TP),总氮等指标进行分析。王海邻等^[13]对北京城市主干道降雨径流进行取样监测,运用EXCEL和SPSS软件统计分析径流污染物TSS,有机污染物(EC),COD,TN,TP,Zn和Ni之间的污染特性,并在此基础上估算污染物年污染负荷。孔燕等^[14]对澄江县凤麓镇典型降雨事件地表径流污染时空变化特征进行系统分析,并结合气象数据和下垫面面积等资料,运用SCS模型对降雨径流污染负荷进行了精确估算。王渲^[15]对5类城市下垫面开展了4场降雨的地表径流水样采集及水质检测实验,研究场次降雨径流污染平均浓度(EMC)、初期冲刷效应以及径流污染影响因素等。

1 降雨径流监测方案

1.1 区域概况

南昌市位于中国华东地区、江西省中部偏北,赣江、抚河下游,鄱阳湖西南岸,地处北半球亚热带内,受东亚季风影响,形成了亚热带季风气候。研究区域学校位于南昌市的北边,地理位置为经度115°86′,纬度28°73′,南北两个校区分列于双港东大街南北两侧。学校内道路综合交错,学校孔目湖与校外连通,学校依水而建。

1.2 采样点的选取和样品采集方法

根据校内的不同道路的用途和道路人车流量的情况不同,选取校内具有代表性的几种下垫面类型,并对其进行布点。本次研究选取学校主干道(A:路面材质为沥青;路面活动以汽车为主,同时也有不少行人和电动车)、学生宿舍区主干道(B:路面材质为混凝土;学生上下课必经的道路,路面活动主要为电动车、自行车和行人)、学校休闲广场(C:路面材质为通体砖;路面活动仅为行人)和学生宿舍屋顶(D:路面材质为防水卷材屋面)。上述4个采样点涉及学校主干道、住宅区、休闲区以及硬质屋顶这几种不同的下垫面功能区,对于校内的环境而言,具有代表性。

对于雨水的收集,采用硬质聚乙烯塑料瓶。每次降雨初期径流设置收集时间为每隔5 min 1次,采样次数为12次,降雨中期径流收集时间为每隔10 min 1次,采样次数为3次,降雨末期径流收集时间为每隔30 min 1次。

1.3 检测指标及方法

本次测定的污染物指标有SS,COD,TN和TP。SS采用重量法,COD采用快速消解分光光度法测定,TN采用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法测定,TP采用钼酸铵分光光度法测定。

2 降雨雨水监测分析

在2020年8—12月降雨监测期间,一共监测到8场有效降雨,如表1所示。

其中采集到的有效降雨径流场次一共只有4场,分别为2020-08-12,2020-08-25,2020-09-11和2020-09-22。按照国家气象局规定的24小时降雨量来划分降雨强度等级,在成功采集的4场降雨的雨水样品中,大雨有2场(2020-08-12和2020-09-11),中雨有2场(2020-08-25和2020-09-22)。

表 1 监测降雨基本信息
Tab.1 Basic information for monitoring rainfall

采样日期	雨前晴天数/d	降雨量/mm	降雨历时/min	降雨类别
2020-08-12	10	25.3	240	前期大后期小
2020-08-25	13	10.7	150	中期较大
2020-09-04	10	0.4	50	大致均匀
2020-09-11	7	29.2	300	前、后期大,中期小
2020-09-15	4	1.8	120	前期小后期大
2020-09-16	1	0.6	25	大致均匀
2020-09-22	6	11.6	300	前期小后期大
2020-10-15	23	1.8	20	前期大后期小

3 降雨污染物浓度随时间的变化规律

为了掌握各下垫面污染物浓度随时间的变化规律,本文将针对单一降雨事件,对不同下垫面的 SS, COD, TN 及 TP 污染物浓度随时间的分布规律进行分析,了解污染物浓度随降雨时间的变

化过程。

3.1 降雨径流污染物 SS 随时间的变化规律分析

对研究区域内 A, B, C 和 D 进行降雨监测,以降雨开始时时刻作为采样记录时间的起始点,对雨水径流中 SS 的浓度随降雨时间的变化过程进行分析,结果如图 1~图 4 所示。

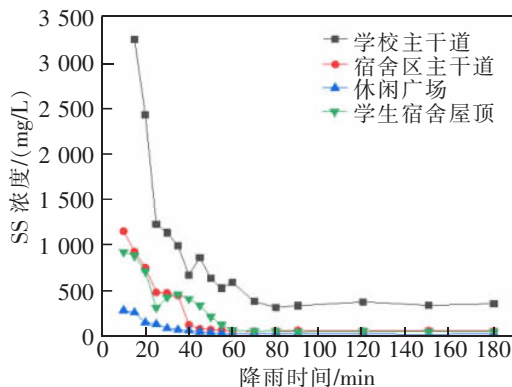


图 1 8月12日 SS 随降雨时间的变化曲线

Fig.1 The variation curve of SS with rainfall time on August 12

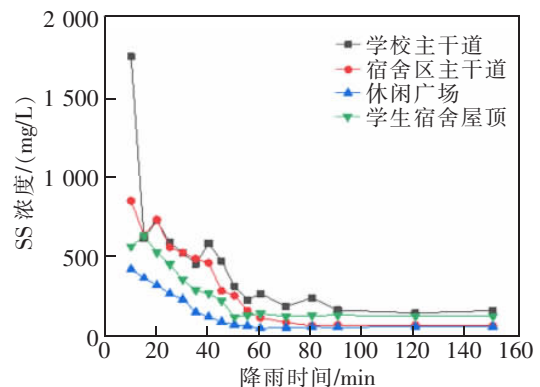


图 2 8月25日 SS 随降雨时间的变化曲线

Fig.2 The variation curve of SS with rainfall time on August 25

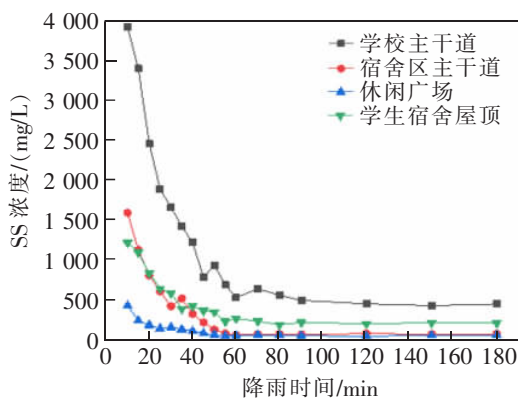


图 3 9月11日 SS 随降雨时间的变化曲线

Fig.3 The variation curve of SS with rainfall time on September 11

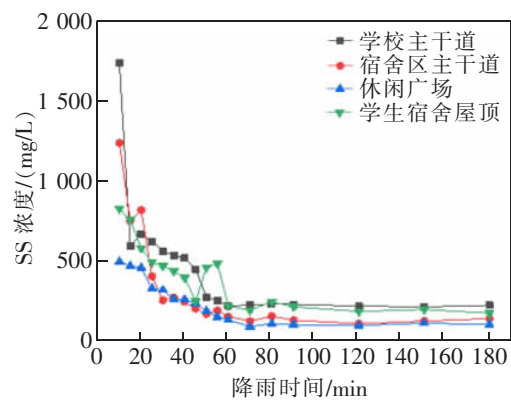


图 4 9月22日 SS 随降雨时间的变化曲线

Fig.4 The variation curve of SS with rainfall time on September 22

通过以上几场降雨表明,学校主干道、宿舍区主干道、学校休闲广场以及学生宿舍屋面雨水径流中 SS 的浓度变化呈现相同的规律,随着降雨时间的延长,SS 浓度存在一定波动,但整体上呈现衰减趋势,前期衰减较快,后期衰减较慢,最后趋于稳定。对于相同种类下垫面不同降雨场次的污染物浓度水平存在差异,污染物衰减的程度也有所不同。对于 8 月 12 日和 9 月 11 日这 2 场降雨,其降雨初期降雨强度较大,初期雨水径流中 SS 的浓度水平相对其他场次较高,可能是由于降雨强度较大,导致之前在路面累积的污染物被迅速冲刷汇入径流中,降雨的初期冲刷较为彻底。

在相同的降雨情况下,不同的下垫面的水质情

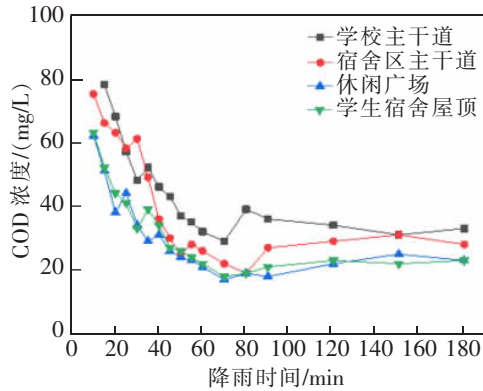


图 5 8 月 12 日 COD 随降雨时间的变化曲线

Fig.5 The variation curve of COD with rainfall time on August 12

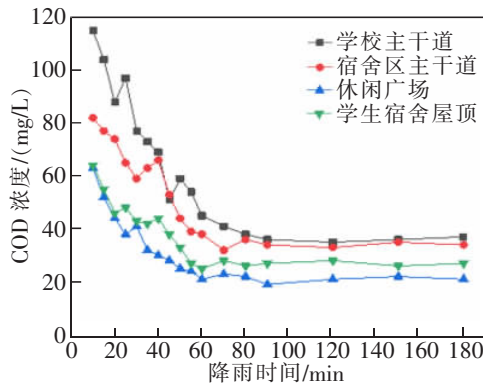


图 7 9 月 11 日 COD 随降雨时间的变化曲线

Fig.7 The variation curve of COD with rainfall time on September 11

通过以上几场降雨表明,学校主干道、宿舍区主干道、学校休闲广场以及学生宿舍屋面雨水径流中 COD 的浓度变化呈现相同的规律,随着降雨时间的延长,整体上呈衰减趋势。因为校园内学生素质比较好,道路卫生比较好,所以 COD 浓度整体都偏低。降雨时间一小时之后雨水径流中的 COD 浓度趋于稳

况也存在明显差异,从上面图 1~图 4 可知,学校主干道的 SS 浓度最高,最低的为学校休闲广场。一方面是主干道上汇流面积大,降雨在冲刷地表的污染物进入径流的总量更多;另一方面,主干道主要为车辆活动居多,也有不少的人流量,反观学校休闲广场,只有人群活动,且人流相对较少,所以雨水径流中 SS 的污染程度最低。

3.2 降雨径流污染物 COD 随时间的变化规律分析

对研究区域内 A,B,C 和 D 进行降雨监测,以降雨开始时刻作为采样记录时间的起始点,对雨水径流中 COD 的浓度随降雨时间的变化过程进行分析,结果如图 5~图 8 所示。

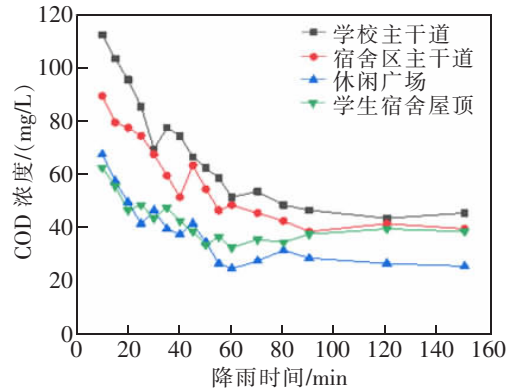


图 6 8 月 25 日 COD 随降雨时间的变化曲线

Fig.6 The variation curve of COD with rainfall time on August 25

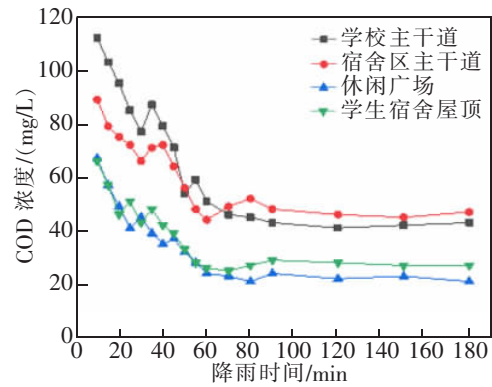


图 8 9 月 22 日 COD 随降雨时间的变化曲线

Fig.8 The variation curve of COD with rainfall time on September 22

定,且不同下垫面的雨水径流中 COD 浓度相差不大。

3.3 降雨径流污染物 TN 随时间的变化规律分析

对研究区域内 A,B,C 和 D 进行降雨监测,以降雨开始时刻作为采样记录时间的起始点,对雨水径流中 TN 的浓度随降雨时间的变化过程进行分析,结果如图 9~图 12 所示。

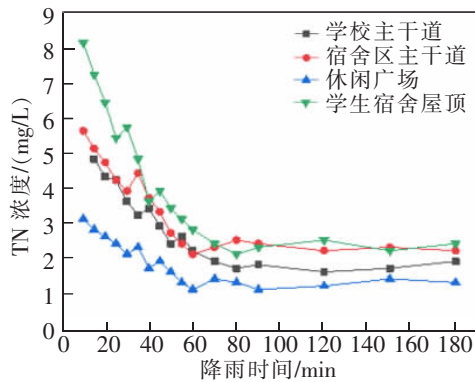


图9 8月12日 TN 随降雨时间的变化曲线

Fig.9 The variation curve of TN with rainfall time on August 12

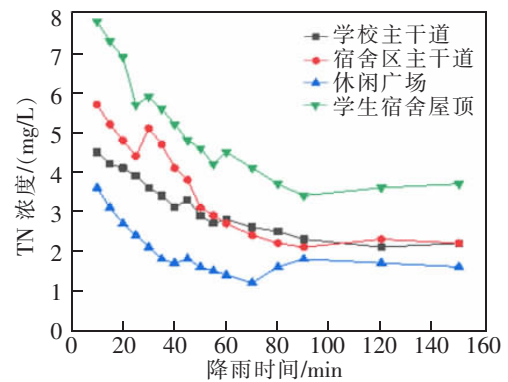


图10 8月25日 TN 随降雨时间的变化曲线

Fig.10 The variation curve of TN with rainfall time on August 25

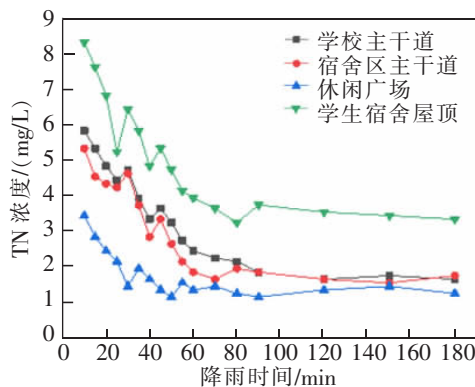


图11 9月11日 TN 随降雨时间的变化曲线

Fig.11 The variation curve of TN with rainfall time on September 11

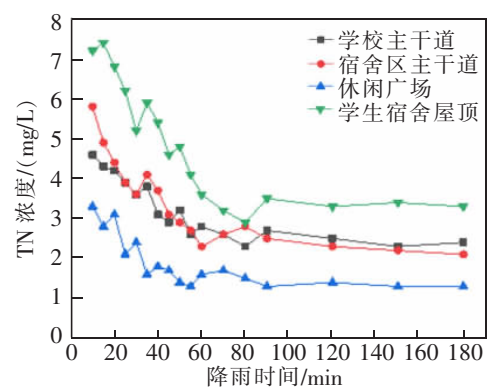


图12 9月22日 TN 随降雨时间的变化曲线

Fig.12 The variation curve of TN with rainfall time on September 22

通过以上几场降雨表明,学校主干道、宿舍区主干道、学校休闲广场以及学生宿舍屋面雨水径流中 TN 的浓度变化呈现相同的规律,随着降雨时间的延长,整体上呈现衰减趋势。且对于降雨强度较大的两场降雨(8月12日和9月11日),前期的污染物浓度递减趋势比较大。降雨时间1h之后雨水径流中的 TN 浓度趋于稳定,除屋面外其它下垫面

雨水径流中的 TN 浓度相差不大。

3.4 降雨径流污染物 TP 随时间的变化规律分析

对研究区域内 A,B,C 和 D 进行降雨监测,以降雨开始时刻作为采样记录时间的起始点,对雨水径流中 TP 的浓度随降雨时间的变化过程进行分析,结果如图13~图16所示。

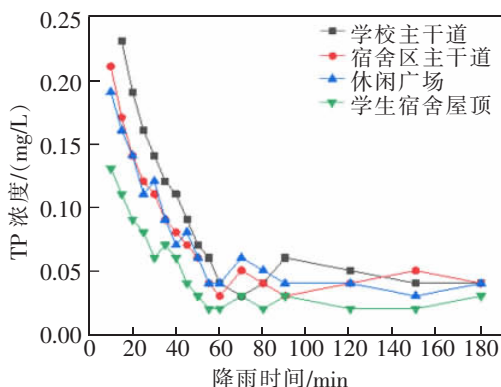


图13 8月12日 TP 随降雨时间的变化曲线

Fig.13 The variation curve of TP with rainfall time on August 12

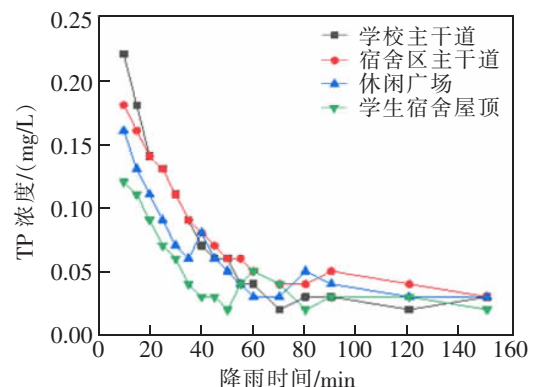


图14 8月25日 TP 随降雨时间的变化曲线

Fig.14 The variation curve of TP with rainfall time on August 25

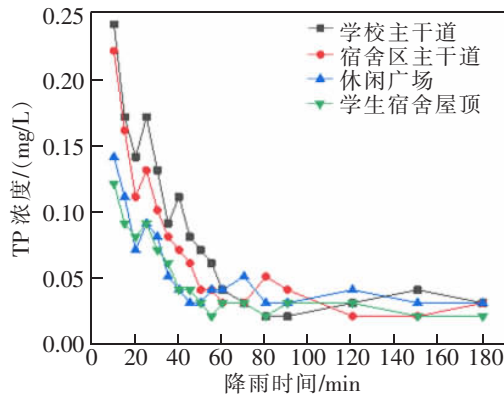


图15 9月11日TP随降雨时间的变化曲线

Fig.15 The variation curve of TP with rainfall time on September 11

通过以上几场降雨表明,学校主干道、宿舍区主干道、学校休闲广场以及学生宿舍屋面雨水径流中TP的浓度变化呈现相同的规律,随着降雨时间的延长,整体上呈前陡后缓的衰减趋势,TP浓度的衰减主要出现在降雨时间的前1h之内。可以看出,整体TP浓度偏低,经过降雨径流的冲刷,下降明显,所有下垫面径流水质最终趋于稳定,稳定后的不同下垫面的径流中TP浓度相差不大。

4 结论

1) 以南昌市某高校为研究区域,通过测定SS, COD, TN和TP 4种污染物浓度,对学校主干道、学生宿舍区主干道、学校休闲广场及学生宿舍屋顶4种下垫面的单一污染物浓度历时变化规律分析发现,不同下垫面、不同场次降雨的水质变化范围和变化规律均有所不同,降雨径流污染物浓度变化整体上呈现衰减趋势,且前期衰减速率较快,后期衰减速率较为平缓。

2) 学校主干道降雨径流中主要污染物为SS, COD和TP,学生宿舍区主干道降雨径流中主要污染物也为SS, COD及TP,学校休闲广场降雨径流中所含污染物相对较少,其中主要污染物为TP,学生宿舍屋顶降雨径流中主要污染物为TN。

参考文献:

[1] 杨鹏. SWMM模型在城市小流域降雨径流面源污染中的应用研究[D]. 武汉:华中科技大学, 2017.
 [2] 徐文媛,秦晓丹,倪熙. NO_x/CO和Fe₂O₃/CO催化处理模拟废水的研究[J]. 华东交通大学学报, 2019, 36(5): 109-114.

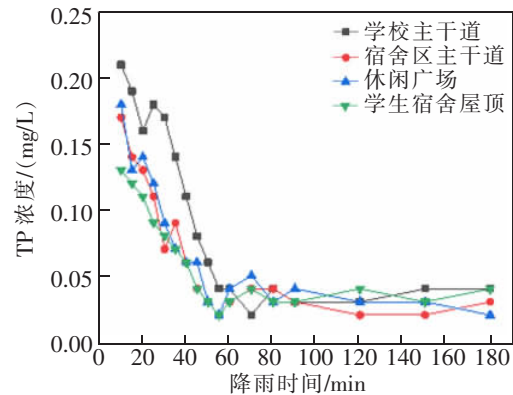


图16 9月22日TP随降雨时间的变化曲线

Fig.16 The variation curve of TP with rainfall time on September 22

[3] JEONG H, CHOI J Y, LEE J, et al. Heavy metal pollution by road-deposited sediments and its contribution to total suspended solids in rainfall runoff from intensive industrial areas[J]. Environmental Pollution, 2020, 265: 115028.
 [4] GROMAIRE M C, GARNAUD S, SAAD M, et al. Contribution of different sources to the pollution of wet weather flows in combined sewers[J]. Water Research, 2001, 35(2): 521-533.
 [5] BREZONIK P L, STADELMANN 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(7): 1743-1757.
 [6] MALLIN M A, JOHNSON V L, ENSIGN S H. Comparative impacts of stormwater runoff on water quality of an urban a suburban and a rural stream[J]. Environmental Monitoring & Assessment, 2009, 159(1/4): 475-491.
 [7] 古玉,王渲,方正. 典型城市降雨径流污染特征调查分析[J]. 中国农村水利水电, 2020(6): 46-50.
 [8] 周志鹏,陈铁,杨松文,等. 基于雨型的南方典型小流域城市降雨径流污染特征研究[J]. 天津科技, 2020, 47(9): 86-92.
 [9] 高斌,许有鹏,陆苗,等. 高度城镇化地区城市小区降雨径流污染特征及负荷估算[J]. 环境科学, 2020, 41(8): 3657-3664.
 [10] 张士官. 城市工业区降雨径流污染特征及区域概化模型研究[D]. 青岛:青岛理工大学, 2019.
 [11] 焦春蛟. 北方沿海城市居民区径流污染及内涝研究与控制[D]. 青岛:青岛理工大学, 2019.
 [12] 张志强. 平原城市降雨径流污染特征分析[J]. 山东化工, 2019, 48(8): 170-171.
 [13] 王海邻,曹雪莹,任玉芬,等. 北京城市主干道降雨径流污染负荷分析[J]. 环境科学学报, 2019, 39(6): 1860-1867.
 [14] 孔燕,冯海涛,聂菊芬. 抚仙湖流域城镇降雨径流污染特征及排放负荷研究[J]. 环境科学导刊, 2018, 37(5): 26-32.
 [15] 王渲. 城市降雨径流污染特征及预测模型研究[D]. 武汉:武汉大学, 2018.