

LID 措施对城南河流域水质改善效果研究

周文琦¹, 俞芳琴², 刘俊¹, 严一晨¹

(1. 河海大学 水文水资源学院, 江苏 南京 210098; 2. 南京市浦口区水务局, 江苏 南京 211800)

摘要:为研究 LID 措施对水质的改善效果,并分析影响 LID 措施改善水质的因素,以南京市城南河流域为例,根据现有下垫面资料对各汇水分区布设合理的 LID 措施,构建 SWMM 模型,模拟 2 年一遇降雨和 5 年一遇降雨条件下 LID 措施对城南河流域水质的改善效果。结果表明,LID 措施能显著提升水质、削减污染物浓度,污染物削减率随降雨重现期、现状污染物浓度的提高而提升。

关键词:城市河道;水质改善;LID 措施;SWMM

中图分类号:X522;TU992

文献标识码:B

文章编号:1007-7839(2021)01-0039-06

Study on effect of LID measures on water quality improvement of Chengnan River Basin

ZHOU Wenqi¹, YU Fangqin², LIU Jun¹, YAN Yichen¹

(1. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. Nanjing Pukou District Water Affairs Bureau, Nanjing 211800, China)

Abstract: In order to study the effect of LID measures on water quality improvement and analyze the factors affecting LID measures to improve water quality, taking Chengnan River Basin in Nanjing as an example, according to the existing underlying surface data, reasonable LID measures were arranged for each catchment area, and SWMM model was constructed to simulate the improvement effect of LID measures on water quality of Chengnan River Basin under the conditions of 2-year and 5-year return period rainfall. The results showed that LID measures could significantly improve water quality and reduce pollutant concentration. The pollutant reduction rate increased with the increase of rainfall return period and current pollutant concentration.

Key words: urban river; water quality improvement; LID measures; SWMM

与自然河湖生态系统相比,城市社会经济系统对水生态系统的干扰日渐增加^[1]。从水文过程来看,由于城市下垫面硬化,雨水汇流时间大大降低,缺乏土壤和植被降解水体污染的过程,对河湖水体造成污染^[2-4]。为降低雨水径流造成的污染,修复

传统“快排”模式所破坏的“降水—下渗—径流—滞蓄—蒸腾”自然水文循环链^[5]。研究以城南河流域为例,因地制宜布设低影响开发(LID)措施,模拟 LID 措施对流域内各河道污染物的削减效果,以期研究 LID 措施对水质的改善效果的影响因素。

收稿日期:2020-07-21

基金项目:江苏省水利科技项目(2017045)

作者简介:周文琦(1996—),女,硕士研究生,研究方向为城市水文,E-mail:1738694909@qq.com

通信作者:刘俊(1968—),男,教授、博导,研究方向为城市水文、工程水文,E-mail:ljhohai@163.com

1 研究区域现状

城南河流域位于南京市浦口区境内,流域面积约 81.6 km²。城南河流域分为上游丘陵段、中游城区段、下游圩区段,上游丘陵段主要为城南河东西支、雨山河及上游支流,中游城区段为城南河主河段,下游圩区段主要有丰字河、东方红河、南农河、芝麻河^[6]。

近年来,浦口区经济高速发展,城市化进程加快,城市建设活动频繁^[7]。一方面,城南河流域下垫面不透水率增加,导致流域入渗、蒸散发、径流等水文要素发生变化,从而引起流域产汇流的变化。另一方面,随着人口高度密集化,城市下垫面硬化比例不断提高,大量的城市地表污染物随降雨径流进入受纳水体,导致城南河流域整体水质较差,水生态环境整体较脆弱。

2 LID 措施布局

对于研究区域下垫面硬化造成的降雨径流污染问题,在 2 年一遇、5 年一遇降雨条件下进行 LID 措施布局,结合《南京海峡两岸科技工业园海绵园区建设规划》(2016—2030)要求,各汇水分区按照各自下垫面类型及所占面积布设 LID 措施。丘陵区建议通过开展山区水土流失治理,开展生态林建设与保护,改善丘陵区水源涵养功能,进一步提高丘陵山区生态环境;城区下垫面类型以硬质化道路、广场、屋顶为主,布设下凹式绿地、绿色屋顶、雨水花园、透水铺装等 LID 设施。各汇水分区 LID 布设方案见表 1。

3 LID 水质模拟

本次研究选用 SWMM 模型进行海绵城市 LID 措施的效果模拟。SWMM 模型有较完备的 LID 和水质模拟功能,SWMM5.0 版本专门增加了 LID 模块,能够实现 8 种 LID 设施的模拟,还可以对不同土地利用的下垫面进行污染物累积和冲刷的模拟。

3.1 汇水分区

河网概化过程中以骨干河道为基础,进行合理的河道概化并划分汇水分区,见图 1。

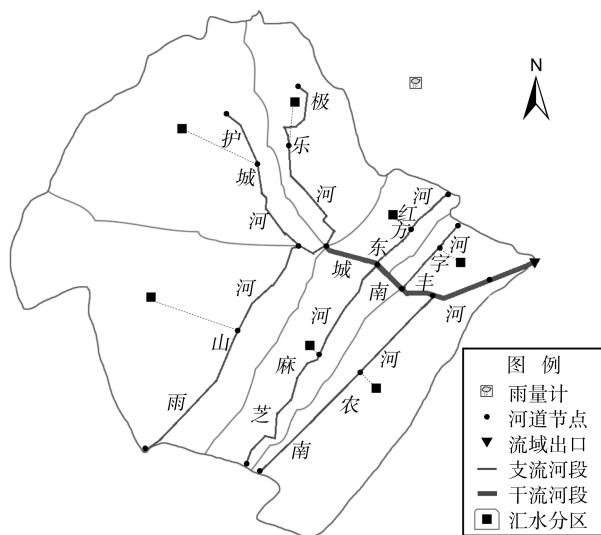


图 1 城南河流域河网及汇水分区图

3.2 设计暴雨

本次模拟城南河流域产汇流过程,根据《江苏省暴雨参数图集》的研究成果,选用 24 h 设计暴雨,确定点暴雨量、折算系数和时程分配表。得出浦口区在 2 年一遇、5 年一遇情况下的逐小时设计暴雨

表 1 各汇水分区 LID 布设方案

汇水分区		下凹式绿地/km ²			绿色屋顶/ km ²	雨水花园/ km ²	透水铺装/km ²		植草沟/ km
河流	总面积/km ²	小区	公园	其他			小区	道路	
极乐河	10.55	1.108	0.045	0.105	0.554	0.06	1.108	0.189	0
护城河	37.48	0.886	0.192	0.144	0.443	0.032	0.886	0.258	0
雨山河	32.24	1.630	0.548	1.234	0.815	0.096	1.630	0.258	0
芝麻河	8.30	0.579	0	0.141	0.290	0.048	0.579	0.168	4.5
南农河	4.26	0	0	0.151	0	0.032	0	0.09	4.0
东方红河	2.86	0.307	0.005	0.034	0.153	0.048	0.307	0.055	1.2
丰字河	2.33	0.048	0	0.004	0.024	0.02	0.048	0.006	1.2

雨型, 见图 2。

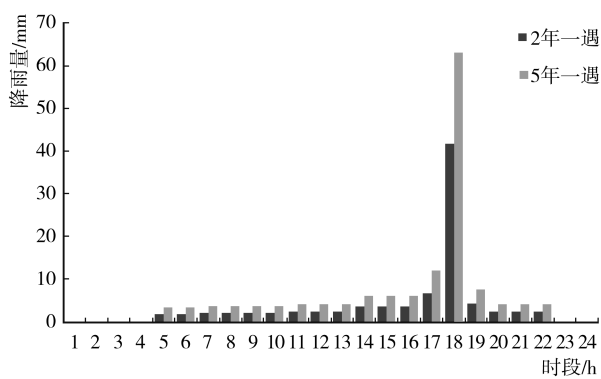


图 2 浦口区 24 h 设计暴雨雨型

3.3 参数设置

划分研究区域下垫面,包括屋顶及非道路铺装(村庄、建筑、构筑物及硬化面)、绿化(草地、林地、农田园地)及道路及工地(道路、工地及堆掘地)。根据研究区域水体较为关注的水质指标,以地表径流主要污染因子 COD、NH₃-N、TP 作为研究对象。天然雨水中的污染物取值 COD 为 20 mg/L、NH₃-N 为 1.0 mg/L、TP 为 0.02 mg/L。根据该研究区的土地类型、降雨强度等直接影响因子,结合研究区域现状,地表污染物的累积过程采用指数函数进行模拟计算,主要设置参数如表 2。各 LID 措施设置参数见表 3。

表 2 不同类型地表模拟参数

土地类型	最大累积量/(kg·hm ⁻²)			累积速率常数			冲刷系数			冲刷指数		
	COD	NH ₃ -N	TP	COD	NH ₃ -N	TP	COD	NH ₃ -N	TP	COD	NH ₃ -N	TP
屋顶及非道路铺装	40	4	0.6	0.5	0.2	0.2	30	8	5	1.7	1.9	1.7
绿化	20	10	1.8	0.4	0.1	0.2	15	5	5	1.7	1.8	1.6
道路及工地	90	6	0.6	0.6	0.5	0.2	50	15	8	2.0	1.7	1.7

表 3 LID 措施参数设置

LID 措施	护道高度/mm	植被体积分数	地表糙率/n	地表坡度/%	植草沟边坡
下凹式绿地	100	0.5	0.24	0.3	—
雨水花园	200	0.5	0.24	0.3	—
绿色屋顶	5	0.3	0.24	1.0	—
透水铺装	5	0	0.15	0.03	—
植草沟	200	0.3	0.2	0.5	5

4 计算结果分析

考虑降雨对面源污染的冲刷效应,对 2 年一遇、5 年一遇情况下各河道污染物浓度变化进行模拟。在现状条件上加入 LID 措施,城南河干流及各支流 COD、NH₃-N、TP 浓度的峰值及污染物削减率见表 4。污染物削减率为相较于现状条件的污染物浓度峰值削减率。

根据表 4 分析绘得 2 年一遇和 5 年一遇降雨条件下实施 LID 措施对各河道不同污染物峰值浓度的削减效果,见图 3。

实施 LID 措施后,两年一遇降雨条件下,各河道 COD 的峰值削减率大于 44%,NH₃-N 的峰值削减率大于 14%,TP 的峰值削减率大于 10%,东方红河 COD、NH₃-N、TP 的峰值削减率均最大,分别为 63.69%、33.12%、37.97%。

5 年一遇降雨条件下,各河道 COD 的峰值削减率大于 52%,NH₃-N 的峰值削减率大于 27%,TP 的峰值削减率大于 15%。东方红河 COD、TP 峰值削减率最大,分别为 70.69%、48.10%,丰字河 NH₃-N 峰值削减率最大,为 38.67%。

LID 措施在 2a 和 5a 的降雨条件下,对各河道 COD 的峰值削减率大于 44%,NH₃-N 的峰值削减率

表 4 污染物削减效果

河道断面	组分	2 年一遇降雨			5 年一遇降雨		
		现状	LID 措施		现状	LID 措施	
		质量浓度/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	质量浓度/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	污染物削 减率/%	质量浓度/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	质量浓度/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	污染物削 减率/%
城南河	COD	86.25	42.92	50.24	128.09	51.85	59.52
	$\text{NH}_3\text{-N}$	2.81	2.14	24.01	3.63	2.43	33.18
	TP	0.4	0.34	15.46	0.49	0.35	28.69
芝麻河	COD	88.21	44.09	50.02	135.51	38.85	71.33
	$\text{NH}_3\text{-N}$	2.98	2.56	14.08	3.54	2.32	34.52
	TP	0.64	0.56	12.52	0.76	0.5	34.82
南农河	COD	69.67	38.71	44.44	70.32	35.26	49.86
	$\text{NH}_3\text{-N}$	2.36	1.7	20.52	2.14	1.65	22.94
	TP	0.36	0.31	13.85	0.33	0.29	11.98
东方红河	COD	115.63	41.99	63.69	179.91	52.91	70.59
	$\text{NH}_3\text{-N}$	3.14	3	33.33	4.32	3.3	43.15
	TP	0.69	0.7	43.98	1.08	0.9	49.49
丰字河	COD	77.35	38.64	50.04	74.54	34.38	53.88
	$\text{NH}_3\text{-N}$	2.56	1.94	24.23	2.07	1.75	15.7
	TP	0.38	0.34	11.84	0.41	0.36	13.38

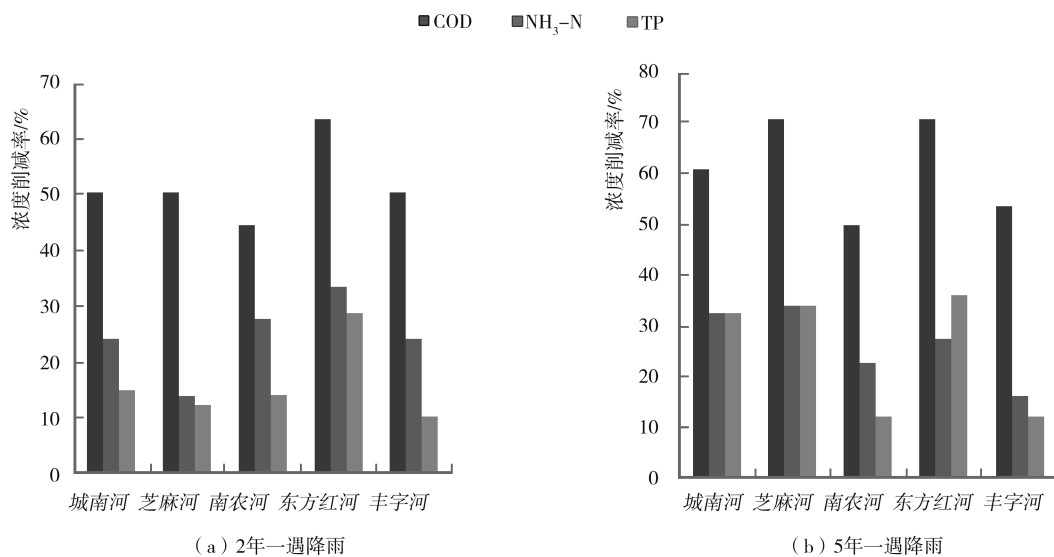


图 3 实施 LID 措施后水质改善情况

大于 14% ,TP 的峰值削减率大于 10% ,表明在 LID 措施条件下的污染物浓度削减率有较大提高, LID 措施对 COD 的削减效果明显。

各河道污染物峰值浓度在不同重现期下削减率,以及 5 年一遇削减率与 2 年一遇削减率的差值,见表 5。

表 5 不同重现期下污染物浓度削减率及差值

组分	河段	2 年一遇 削减率/%	5 年一遇 削减率/%	削减率差/ %
COD	城南河	50.24	59.52	9.28
	芝麻河	50.02	71.33	21.31
	南农河	44.44	49.86	5.42
	东方红河	63.69	70.59	6.90
	丰字河	50.05	53.88	3.83
NH ₃ -N	城南河	23.84	33.06	9.21
	芝麻河	14.09	34.46	20.37
	南农河	27.97	22.90	-5.07
	东方红河	33.12	27.31	-5.81
	丰字河	24.22	15.46	-8.76
TP	城南河	15.00	32.65	17.65
	芝麻河	12.50	34.21	21.71
	南农河	13.89	12.12	-1.77
	东方红河	37.97	36.11	-1.86
	丰字河	10.53	12.20	1.67

LID 措施对 COD 的削减率几乎全部超过 1/2,对 NH₃-N 的削减率几乎全部超过 1/5,对 TP 的削减率几乎全部超过 1/10, LID 措施对降雨时 COD 的峰值的削减率大于对 NH₃-N 和 TP 峰值的削减率。除东方红河(遭遇 2 年一遇、5 年一遇降雨)与芝麻河(遭遇 5 年一遇降雨)外, LID 措施对降雨时 NH₃-N 的峰值削减率效果均大于对 TP 峰值的削减率。 LID 措施对东方红河 TP 的峰值削减作用效果大于对 NH₃-N 峰值削减作用,可能与东方红河的 TP 污染严重有关, LID 措施有效降低了雨水冲刷带来的

TP 污染。 综上表明, 现状污染物浓度越高, LID 对污染物浓度的削减率越大

根据表 5 数据绘得实施 LID 措施后 2 年一遇和 5 年一遇降雨条件下各河道污染物浓度的削减情况,见图 4。

由图 4 可知,污染物浓度削减率总体随着降雨重现期的增大而提高。 LID 措施可以稳定削减低重现期降雨时的污染物峰值浓度。

对 COD 而言,城南河、芝麻河、南农河、东方红河和丰字河 5 年一遇污染物浓度削减率高于 2 年一遇。

对 NH₃-N 而言,城南河和芝麻河 5 年一遇削减率高于 2 年一遇;南农河、丰字河和东方红河 5 年一遇削减率低于 2 年一遇。

对 TP 而言,城南河、芝麻河、东方红河、丰字河 5 年一遇削减率高于 2 年一遇;南农河 5 年一遇削减率低于 2 年一遇。

根据表 5 的最后一列削减率差,得出各河道污染物峰值浓度在不同重现期下削减率差值,见图 5。

图 5 表明, LID 措施对整体水质改善效果整体随着重现期的提高而提升,城南河及各支流的 COD 峰值浓度削减率均随着重现期的提高而提升。 LID 措施对城南河干流和芝麻河的三种污染物的峰值削减率随着重现期的提高而提升,芝麻河和城南河的提升效果随着重现期的提高而提高的最为明显,其中芝麻河各污染物削减率提升均超过 20%。 LID 措施对东方红河、南农河和丰字河的 COD 的峰值削减率随降雨强度的增大而增大,但 NH₃-N 与 TP 的削减率随着重现期的提高而降低或提升幅度不大。

LID 措施对水质的改善主要是通过改造下垫面,延长雨水汇流路径,增加雨水滞留时间,减轻雨水冲刷下垫面带来的雨水径流污染。因此, LID 措施对雨期水体污染物浓度峰值的削减率受降雨影响,在低重现期降雨条件下, LID 措施持续发挥渗蓄、滞流、净化的作用,污染物浓度削减率随降雨重现期的提高而提升。

5 结 论

在遭遇低重现期降雨时, LID 措施对城南河干流及各支流的污染物浓度峰值有明显的削减作用,削减率的大小受降雨重现期、现状污染物浓度等因素影响:

(1)低重现期降雨条件下, LID 措施对污染物的削减率随重现期提高而提高, LID 措施 2 年一遇

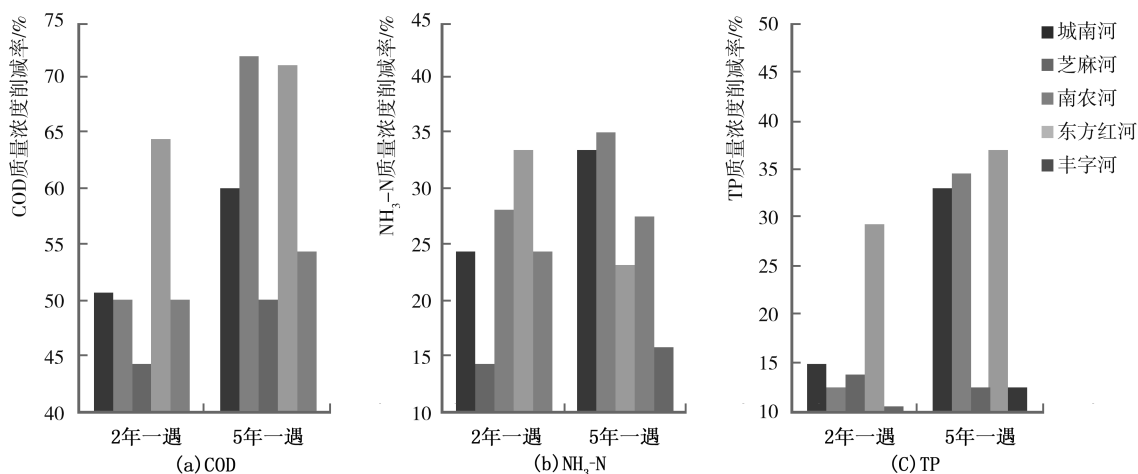


图4 各河道 COD、NH₃-N、TP 质量浓度削减效果对比

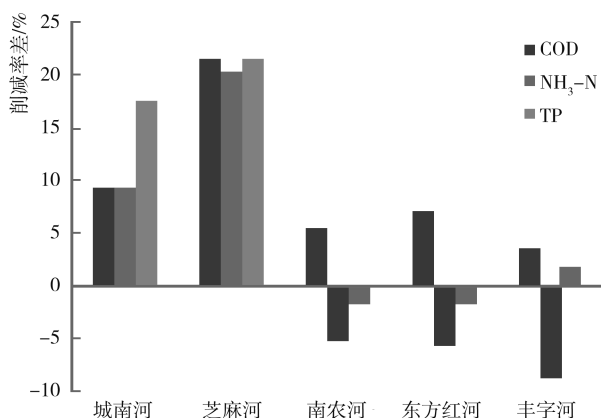


图5 不同重现期污染物浓度峰值削减率差

削减率总体上低于5年一遇削减率。

(2) 现状污染物浓度越高, LID 措施对该污染物浓度的削减率就越大, 污染物浓度削减率从高到低依次是 COD、NH₃-N、TP。

参考文献:

[1] 王婷, 刁秀媚, 刘俊, 等. 基于 SWMM 的老城区 LID

布设比例优化研究[J]. 南水北调与水利科技, 2017, 15(4):29-43, 128.

[2] 陈新拓, 陈琳, 余佳, 等. 成都市典型黑臭河道水质特征的 SWMM 模型分析[J]. 环境科学与技术, 2018, 41(增刊1):212-217.

[3] TAEBI A, DROSTE R L. Pollution loads in urban runoff and sanitary wastewater [J]. Science of Total Environment, 2004, 327(1/2/3):175-184.

[4] 孙志康, 李翠梅, 程桂, 等. 基于 SWMM 的 LID 组合措施水文水质模拟效果研究[J]. 中国农村水利水电, 2017(12):109-114.

[5] 车伍, 闫攀, 赵杨, 等. 国际现代雨洪管理体系的发展及剖析[J]. 中国给水排水, 2014, 30(18):45-51.

[6] 张倩云, 韩璐瑶, 俞芳琴, 等. 基于水文过程的南京市城南河流域水生态系统修复方法[J]. 水电能源科学, 2020, 38(2):61-64, 51.

[7] 周文琦, 俞芳琴, 韩璐瑶, 等. 生态补水对城南河水质水量改善效果研究[J]. 南水北调与水利科技(中英文), 2020, 18(3):151-157, 200.