

DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2021.03.015

基于多目标评价的市政道路径流污染控制 生物滞留设施填料优化

赵云云^{1,2}, 李骐安¹, 陈正侠¹, 周国华³, 贾海峰¹

(1. 清华大学环境学院, 北京 100084; 2. 农业农村部规划设计研究院, 北京 100125;
3. 天津生态城市政景观有限公司, 天津 300486)

摘要:为优化面向市政道路径流污染控制的生物滞留设施填料,运用多目标评价方法对填料的渗透性能、污染物去除效果和经济成本进行综合评估。以我国华北地区的地理特征和市政道路径流污染特征为依据,开展生物滞留柱试验研究,得到填料优化配比为土壤、河沙、草炭土、给水厂污泥(含铝盐)、蛭石、沸石的质量比为30:24:6:20:10:10,该填料组合能够维持较好的渗透性能,在污染物(SS、COD_{Cr}、TN、NH₃-N、TP)去除效果良好的同时,具有填料本地化和固废资源化的特点。

关键词:生物滞留设施;填料优化;市政道路;径流污染控制;多目标评价;层次分析法

中图分类号:X52 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-6933(2021)03-0096-06

Optimization of bioretention facility media for municipal road runoff pollution control based on multi-objective evaluation// ZHAO Yunyun^{1,2}, LI Qian¹, CHEN Zhengxia¹, ZHOU Guohua³, JIA Haifeng¹ (1. School of Environment, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. Academy of Agricultural Planning and Engineering, MARA, Beijing 100125, China; 3. Tianjin Eco-city Municipal Engineering & Landscape Architecture Co., Ltd., Tianjin 300486, China)

Abstract: In order to optimize the bioretention facility media for municipal road runoff pollution control, a multi-objective evaluation method was employed to comprehensively evaluate the permeability performance, pollutant removal efficiency and economic cost of bioretention media. Based on the geographical conditions and municipal road runoff pollution characteristics in north China, a lab-based simulation experiment using bioretention columns was carried out. The results indicated that the optimized media was composed of natural soil, river sand, peat soil, water treatment residual (rich in aluminium salt), vermiculite and zeolite, with a mass ratio of 30:24:6:20:10:10. The optimized media could maintain decent permeability and effectively remove runoff pollutants (SS, COD_{Cr}, TN, NH₃-N, TP), and also had characteristics of the localization of media and the recycling of solid wastes.

Key words: bioretention facility; media optimization; municipal road; runoff pollution control; multi-objective evaluation; analytic hierarchy process

生物滞留设施作为最重要的一类低影响开发技术,已被广泛应用于海绵城市建设中的城市径流控制^[1-2],但如何提升其对污染物的去除效果仍是研究的热点和难点^[3-4]。生物滞留设施的填料配置是影响其径流污染控制效果的关键因素^[5]。目前,国外已有生物滞留设施的设计规范和相关填料的选择标准,而国内还没有形成成熟的技术规范,在设计时结合当地的实际情况,主要考虑填料的渗透性能、污染物去除效果以及经济成本等因素^[6]。早期生物

滞留设施的填料种类比较单一,主要为天然的壤质砂土、砂质壤土和壤土等^[7]。这些填料的渗透性能较好,成本也相对较低,但对污染物的去除效果欠佳。而对于黏粒含量高的黏土,虽然这些填料对污染物的去除效果好,但是渗透性能差,容易产生堵塞。Singh等^[8]通过在土壤中掺砂的同时添加木屑、草炭土等有机质来优化填料的颗粒级配,以维持土壤的保水及渗透性能。随着城市化进程中面源污染问题的日益严峻,包含天然土壤、有机质及土壤改

基金项目:北京市自然科学基金(8161003);国家自然科学基金(41890823);清华大学自主科研计划(2019Z0UOA)

作者简介:赵云云(1986—),女,博士,主要从事低影响开发等研究。E-mail: zhao2007shirley@163.com

通信作者:贾海峰(1967—),男,教授,博士,主要从事环境工程研究。E-mail: jhf@tsinghua.edu.cn

良剂等介质的混合填料逐渐用于生物滞留设施的改良^[9]。已有研究表明,生物滞留设施对悬浮性颗粒物的去除率基本都能够超过 90%,对 COD 的去除率能达到 60% 以上;而对氮、磷的去除效果则不稳定^[10-12]。在填料中添加比表面积大、吸附能力强的介质,如沸石、蛭石、生物炭等,能够提高氮、磷的去除率^[13]。考虑到填料的经济成本和固废资源化利用,也通过添加河道底泥和给水厂污泥等来提高氮、磷的去除率^[14-15]。

为提升生物滞留设施的污染物去除效果、降低设施建设成本和提高固废资源化利用效率,可对生物滞留设施填料进行改良,但仍缺乏对填料基于渗透性能、污染物去除效果及经济成本等因素的综合评价及优化配置。同时,生物滞留设施在干旱和寒冷气候条件下的运行效果仍存在不确定性,亟待进一步研究。本文以华北地区的天津中新生态城为例,通过在实验室搭建生物滞留柱装置,结合研究区的地理特征及市政道路径流污染特征等实际情况,配置多种填料组合并设计人工模拟降雨试验,通过采用多目标评价方法对填料组合的渗透性能、污染物去除效果及经济成本进行综合评估,旨在为研究区域生物滞留设施填料的优化配置提供科学依据,也为其他类似地区生物滞留设施的优化设计提供参考。

1 材料与方法

1.1 生物滞留柱试验设计

本研究的试验流程及装置如图 1 所示,主要由 4 部分组成:①生物滞留柱(以下简称试验柱)。每个试验柱代表一种填料组合,每种填料组合采用不同的填料配比均匀混合配置,共设计 8 组;②人工合成降雨径流。根据天津市典型场次降雨的水质特征,人工配置模拟降雨径流;③蠕动泵。通过控制蠕动泵的流量,将模拟降雨径流泵入各试验柱中,作为试验柱的进水;④出水收集装置。在试验柱末端采集出流水样,检测出流中的 SS、COD_{Cr}、TN、NH₃-N 和 TP 等指标,以评估填料的水质净化效能。

试验柱高 1 200 mm,直径 100 mm,采用亚克力材质,出水阀为球形阀。试验柱分为上下两层,上层是填料层,高 600 mm;下层是由砾石组成的承托层(粒径 3~6 mm),高 200 mm,与填料层之间布设土工布。为避免植物干扰,试验柱中不种植物。本研究在文献调研的基础上,结合天津生态城的土壤条件、当地原料的来源及价格,选用 6 种填料配置不同质量比的填料组合,包括天然土壤、河沙、草炭土、蛭石、沸石、给水厂污泥。6 种填料的粒径、干密度和孔隙度见表 1。

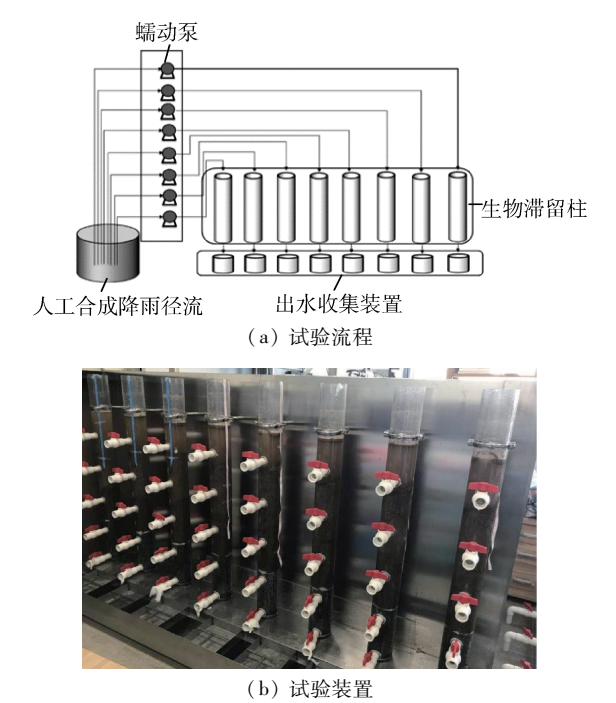


图 1 生物滞留柱试验流程及装置
Fig.1 Flow and device of the bioretention simulation experiment

表 1 填料的物理性质

Table 1 Physical properties of the bioretention medium			
填料名称	粒径/mm	干密度/(kg·m ⁻³)	孔隙度/%
土壤	<0.5	1.15	52.18
河沙	0.06~0.5	1.20	39.45
草炭土	1~5	0.61	54.55
蛭石	0.5~1	0.33	65.45
沸石	5~10	0.93	51.82
给水厂污泥	<0.01	0.65	25.45

首先利用土壤、河沙和草炭土 3 种填料按照 5:4:1 的质量比配置成自然包。自然包作为试验的对照组,既要满足植物生长的基本需求,同时组成配比要尽量与植物生长的自然环境相近。填料组合 1 全部采用自然包,作为试验的对照组;填料组合 2~8 增加不同质量比的蛭石、沸石和给水厂污泥,如表 2 所示。从组合 1~8,自然包的含量逐渐减小,其他填料的含量逐渐增加,其中组合 2、3、4 用于分析不同含量的蛭石和沸石对污染物去除效果的影响,组合 5、6 用于对比含铁盐和含铝盐的给水厂污泥对污染物的去除效果,组合 7、8 用于分析沸石含量增加对水质净化效果的影响。

1.2 人工模拟降雨设计

选用一年一遇降雨历时 60 min、降水量 41.4 mm 的设计降雨作为试验柱的进水。根据 2014 年发布的《海绵城市建设技术指南——低影响开发雨水系统构建(试行)》,该设计降雨满足天津年径流总量控制率 85% 的要求(对应降水量 37.8 mm)。假设

表2 各试验柱中填料的质量比

Table 2 Mass ratio of medium in each bioretention column

试验柱	自然包/%	给水厂污泥/%	蛭石/%	沸石/%
1	100			
2	70	10 (Al)	5	15
3	70	10 (Al)	15	5
4	70	10 (Al)	10	10
5	60	20 (Al)	10	10
6	60	20 (Fe)	10	10
7	50	30 (Fe)	10	10
8	50	20 (Fe)	10	20

汇水面积与试验柱面积比例为 10:1,则得到单根试验柱的模拟降雨流量为 0.8 mL/s,每次进水 2.9 L。根据研究区域的降雨特征及市政道路的径流污染特征,共模拟了 8 场降雨事件,模拟降雨频率为每周 2 次,其中 4 场降雨的雨前干期为 2 d,另外 4 场降雨的雨前干期为 3 d,相应的降雨径流水质及配水投加的物质如表 3 所示。每场降雨的污染物去除率采用试验柱进出水污染物质量浓度计算得出。

表3 人工模拟降雨径流水质及投加物质

Table 3 Water quality simulation of rainfall runoff and applied chemical agents

水质指标	平均质量浓度/(mg·L ⁻¹)	投加物质
SS	150	路面沉积土
COD _{Cr}	100	葡萄糖
TN	6	氯化铵、硝酸钾
NH ₃ -N	2	氯化铵
TP	1	磷酸二氢钾

1.3 填料优化筛选

采用常用的多目标评价方法——层次分析法 (analytic hierarchy process, AHP) 来筛选最优的填料组合,即筛选出渗透性能、污染物去除效果和经济性都理想的填料组合。建立的多指标层次分析结构如图 2 所示,其中指标层包含渗透系数、污染物去除率和填料价格 3 个一级指标;污染物去除率指标又根据 5 类污染物分为 5 个二级指标。各指标对筛选理想填料的相对重要性,即指标的权重,通过专家打分确定。专家打分过程充分考虑了专家的研究背景和方向,咨询了包括相关领域的技术专家、当地决策者和公众代表等在内的多位利益相关者,总共采集专家打分样本 40 份。通过在同一级指标间构造基于专家打分的两两比较判断矩阵,得到被比较指标的相对权重。判断矩阵的一致性比率均小于 0.1,表明判断矩阵通过一致性检验,得到的权重具有可靠性。最终得到,渗透系数、SS、COD_{Cr}、TN、NH₃-N、TP 和填料价格的综合权重分别为 0.31、0.13、0.25、0.09、0.04、0.02 和 0.16。

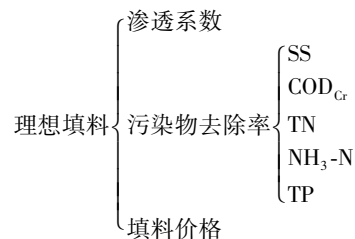


图2 填料优化筛选的层次分析结构

Fig.2 Hierarchical analysis structure for media optimization

2 结果与分析

2.1 填料渗透性能

采用渗透系数反映填料的渗透性能,渗透系数越低,渗透性能越差,反之则越好。随着时间的增加,填料逐渐被压实,最终各试验柱稳定后的渗透系数在 50 ~ 106 mm/h 之间,平均达到 77 mm/h。这与文献 [16] 建议的渗透系数范围相符 (50 ~ 200 mm/h),表明各试验柱符合生物滞留设施对渗透系数的要求。

2.2 填料污染物去除效果

生物滞留设施常用于处理降雨径流中的固体颗粒、有机物及氮磷等物质。污染物去除效果如图 3 所示。

a. SS。各试验柱对 SS 的去除效果显著,除对照组 (1 号试验柱) 外,其余试验柱的 SS 平均去除率在 87.9% ~ 91.7% 范围内。对照组的 SS 平均去除率最低,而且去除效果不稳定;其余试验柱的 SS 去除率均超过 85%。SS 的去除主要是通过填料的吸附、沉淀和过滤等作用实现,已有研究也表明生物滞留设施能够对 SS 高效去除^[2]。对照组较低的 SS 去除率一方面是由于缺少蛭石和沸石等吸附能力强的填料,另一方面也与填料中的细骨料随径流被冲出有关。

b. COD_{Cr}。除对照组外,各试验柱对 COD_{Cr} 的平均去除率在 62.5% ~ 83.0% 范围内。平均去除率最高的为 8 号试验柱,能够达到 83%。这主要是由于 8 号试验柱中沸石的占比在各试验柱中达到最高 (20%)^[16]。仇付国等^[17]的研究也表明沸石能够高效去除径流中的 COD_{Cr}。相比之下,对照组中只含有土壤、河沙和草炭土,没有添加蛭石和沸石等污染物去除效果好的填料。

c. TN。各试验柱对 TN 的去除效果均不理想且极不稳定,除对照组外,平均去除率在 -129.3% ~ -58.2% 范围内。与其他污染物指标不同,对照组的 TN 平均去除率为 23.1%,远高于其他试验柱。2 ~ 7 号试验柱的 TN 平均去除率都为负值,表明降

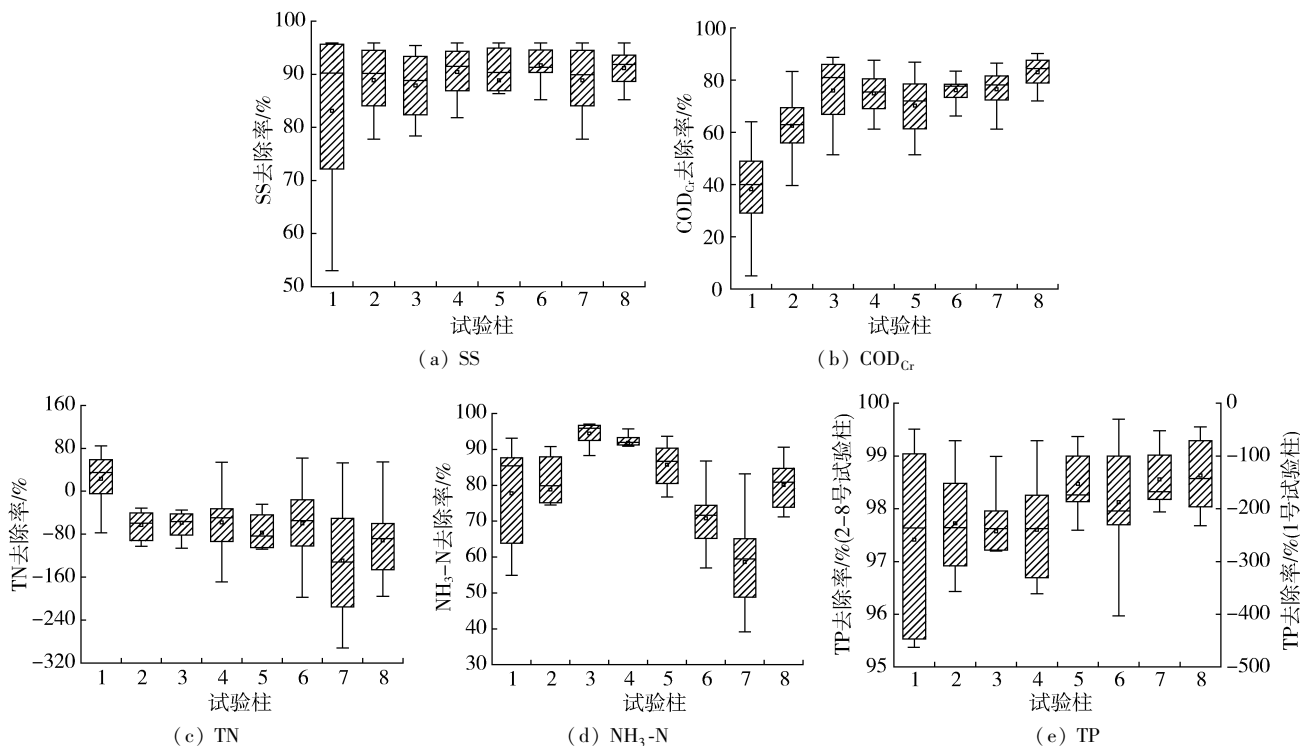


图3 各试验柱的污染物去除效果

Fig.3 Pollutant removal efficiency of bioretention columns

雨径流通过生物滞留设施后,污染物浓度不降反升。该结论也得到 Lopez-Ponnada 等^[4]研究的证实。这主要是由于一方面填料本身氮的本底值较高,另一方面生物滞留设施不具备发生反硝化作用的缺氧条件,导致硝态氮难以被有效去除;同时,硝态氮带负电荷,很难通过填料的吸附作用被去除。

d. $\text{NH}_3\text{-N}$. 各试验柱对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除效果较好,平均去除率在 58.6% ~ 94.4% 范围内。对比各试验柱,3 号试验柱对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除效果维持在较高的水平,平均去除率达到 94.4%,表明蛭石在去除 $\text{NH}_3\text{-N}$ 方面表现良好。相较于 2 号和 4 号试验柱,3 号试验柱的蛭石含量最高,4 号试验柱次之。8 号试验柱的蛭石和沸石含量最高,对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除效果明显优于 7 号试验柱。通过填料的吸附有效去除 $\text{NH}_3\text{-N}$ 也在已有研究中得到了证实^[17]。此外,相比于硝态氮, $\text{NH}_3\text{-N}$ 带正电荷,因此容易被生物滞留设施中带负电荷的土壤颗粒吸附。同时,由于典型的生物滞留设施填料有利于硝化反应的进行,使 $\text{NH}_3\text{-N}$ 也能够通过转化为硝态氮而得到去除。

e. TP. 除对照组外,2 ~ 8 号试验柱对 TP 的去除效果都维持在很高的水平,平均去除率在 97.6% ~ 98.6% 范围内。对照组的 TP 去除率为负值,可能与填料中磷的释放有关。虽然各试验柱中都添加了草炭土这类有机质,但除对照组外,其他试验柱还加入了吸附能力强的蛭石和沸石,以及富含铁盐和铝盐的给水厂污泥。降雨径流中颗粒态的磷会附着在

SS 上,并在生物滞留设施填料中通过吸附、沉淀和过滤作用随 SS 一起被截留;而溶解态的磷则能够通过填料的吸附作用被去除。同时,溶解态的磷也通过与填料中的铁、铝等金属离子发生反应生成沉淀物而被有效去除。总体上,生物滞留设施对 TP 的去除效果较 TN 更稳定,这与 Palmer 等^[18]的研究结果相一致。

2.3 填料经济成本分析

填料的经济成本以购买单位体积填料组合的价格为依据计算得到,其中 3 号试验柱的填料成本最高,是对照组的 2.3 倍。试验柱的填料平均成本为 730 元/ m^3 ,其中 1 号、2 号和 7 号试验柱的成本低于平均值,经济性较好。

2.4 填料综合性能比选

渗透系数采用设施稳定后的测定结果,污染物去除率采用 8 场降雨的平均污染物去除率进行计算,结果如表 4 所示。

为消除各指标的量纲和数量级对综合评价的影响,首先采用 0 ~ 1 极差标准化方法对各指标的原始数据进行标准化处理。填料的渗透系数和污染物去除率越高,标准化后的数值越接近 1,填料单价则相反。将渗透系数、污染物去除率和填料单价的标准化数值采用加权求和的方法得到 8 种试验柱填料组合的综合得分,如表 5 所示。5 号试验柱中其填料土壤、河沙、草炭土、给水厂污泥、蛭石和沸石的质量比为 30:24:6:20:10:10,其中给水厂污泥主要含铝

表4 各试验柱的性能和填料经济成本

Table 4 Performance and economic costs of each bioretention column

试验柱	渗透系数/ (mm·h ⁻¹)	污染物去除率/%					填料单价/ (元·m ⁻³)
		SS	COD _{Cr}	TN	NH ₃ -N	TP	
1	50	83.12	38.22	23.15	77.74	-258.71	414.50
2	100	88.90	62.48	-62.73	78.80	97.73	649.00
3	54	87.88	76.04	-58.89	94.45	97.57	953.50
4	96	90.40	74.88	-58.16	91.81	97.60	805.50
5	106	88.84	70.32	-77.27	85.69	98.47	762.00
6	65	91.70	76.12	-60.02	70.80	98.12	762.00
7	66	88.85	76.55	-129.31	58.64	98.56	717.00
8	78	91.16	83.04	-91.42	80.11	98.63	798.50

表5 各试验柱的综合得分及排序

Table 5 Comprehensive performance and ranking of each bioretention column

试验柱	筛选指标得分							总分	排序
	渗透系数	SS	COD _{Cr}	TN	NH ₃ -N	TP	填料单价		
1	0.00	0.00	0.00	0.09	0.02	0.00	0.16	0.271	8
2	0.28	0.09	0.14	0.04	0.02	0.02	0.09	0.672	3
3	0.02	0.07	0.21	0.04	0.04	0.02	0.00	0.407	7
4	0.25	0.11	0.20	0.04	0.04	0.02	0.04	0.712	2
5	0.31	0.09	0.18	0.03	0.03	0.02	0.06	0.713	1
6	0.08	0.13	0.21	0.04	0.01	0.02	0.06	0.556	5
7	0.09	0.09	0.21	0.00	0.00	0.02	0.07	0.479	6
8	0.16	0.12	0.25	0.02	0.02	0.02	0.05	0.639	4

盐,综合效果优于含铁盐的给水厂污泥(6号试验柱)。4号试验柱与5号试验柱的综合得分很接近,两者填料组合的差别仅在于给水厂污泥和自然包含量的不同。5号试验柱中的给水厂污泥含量较4号试验柱更多,其渗透性能较4号试验柱更好,填料价格也更低。对照组的填料成本虽然最小,但填料的渗透性能和污染物去除效果均不理想,导致综合得分最低。

3 结 语

随着我国城市化进程的快速推进,面源污染和固体废弃物排放等问题日益严峻,基于多目标评价方法优化生物滞留设施填料,能够从源头有效控制径流污染并提高固废资源化利用效率。试验期内,8组试验柱的渗透系数最终稳定在50~106 mm/h范围内,符合生物滞留设施对渗透系数的要求。除对照组外,其余试验柱对SS、COD_{Cr}、NH₃-N、TP的平均去除率分别处在87.9%~91.7%、62.5%~83.0%、58.6%~94.4%、97.6%~98.6%范围内。各试验柱对TN的去除效果不理想且极不稳定。研究结果表明,5号试验柱的综合性能最优,其填料组合能够维持较好的渗透性能,在污染物去除效果良好的同时,具有填料本地化和资源化的特点,经济性好。在实际工程应用中建议多采用蛭石和沸石等吸附能力强的填料,以及富含铝盐的给水厂污泥等经

济性好的填料。

本文研究成果可为面向市政道路径流污染控制的生物滞留设施填料的优化配置提供参考,今后的研究应着重关注生物滞留设施填料中氮、磷的淋失和应对策略,以及环境变化对设施性能的影响,以探究优化的生物滞留设施填料组合在实际应用中对市政道路径流污染的处置能力。

参考文献:

- [1] JIA H, WANG Z, ZHEN X, et al. China's sponge city construction: a discussion on technical approaches [J]. Frontiers of Environmental Science & Engineering, 2017, 11(4): 18.
- [2] 王晓璐,左剑恶,干里里,等.复合填料生物渗滤系统处理城市雨水径流的研究[J].环境科学,2015,36(7): 2518-2524. (WANG Xiaolu, ZUO Jiane, GAN Lili, et al. Treatment of urban runoff pollutants by a multilayer biofiltration system [J]. Environmental Science, 2015, 36(7): 2518-2524. (in Chinese))
- [3] LI L, DAVIS A P. Urban stormwater runoff nitrogen composition and fate in bioretention systems [J]. Environmental Science & Technology, 2014, 48(6): 3403-3410.
- [4] LOPEZ-PONNADA E V, LYNN T J, ERGAS S J, et al. Long-term field performance of a conventional and modified bioretention system for removing dissolved nitrogen species in stormwater runoff [J]. Water Research, 2020, 170: 115336.
- [5] YOU Z, ZHANG L, PAN S Y, et al. Performance

- evaluation of modified bioretention systems with alkaline solid wastes for enhanced nutrient removal from stormwater runoff[J]. Water Research,2019,161:61-73.
- [6] 熊家晴,何一帆,白雪琛,等.改良填料生物滞留池对雨水径流中磷的去除效果[J].环境工程学报,2019,13(9):2164-2172. (XIONG Jiaqing, HE Yifan, BAI Xuechen, et al. Removal effect of phosphorus in rainfall-runoff by the media-improved bioretention tank [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2019, 13(9):2164-2172. (in Chinese))
- [7] LUCKE T, NICHOLS P W B. The pollution removal and stormwater reduction performance of street-side bioretention basins after ten years in operation [J]. Science of The Total Environment, 2015, 536:784-792.
- [8] SINGH R, ZHAO F, JI Q, et al. Design and performance characterization of roadside bioretention systems [J]. Sustainability, 2019, 11(7):2040.
- [9] 李家科,张兆鑫,蒋春博,等.海绵城市生物滞留设施关键技术研究进展[J].水资源保护,2020,36(1):1-8. (LI Jiake, ZHANG Zhaoxin, JIANG Chunbo, et al. Research progress on key technologies of bioretention facilities for sponge city construction[J]. Water Resources Protection, 2020, 36(1):1-8. (in Chinese))
- [10] O'NEILL S W, DAVIS A P. Watertreatment residual as a bioretention amendment for phosphorus. II: long-term column studies[J]. Journal of Environmental Engineering, 2012, 138(3):328-336.
- [11] ZHANG W, SANG M, CHE W, et al. Nutrient removal from urban stormwater runoff by an up-flow and mixed-flow bioretention system[J]. Environmental Science and Pollution Research International, 2019, 26(17):17731-17739.
- [12] 宋奔奔,高成,寇传和,等.基于SWMM的生物滞留池布置水文时空效应[J].水资源保护,2017,33(3):25-30. (SONG Benben, GAO Cheng, KOU Chuanhe, et al. Spatial and temporal hydrological responses of arrangement of bioretention cell based on SWMM[J]. Water Resource Protection, 2017, 33(3):25-30. (in Chinese))
- [13] ASHOORI N, TEIXIDO M, SPAHR S, et al. Evaluation of pilot-scale biochar-amended woodchip bioreactors to remove nitrate, metals, and trace organic contaminants from urban stormwater runoff[J]. Water Research, 2019, 154:1-11.
- [14] 钟兴,张伟,田笑尘,等.基于黑臭河道底泥利用的生物滞留设施对雨水径流污染的净化效果[J].环境工程学报,2018,12(8):2193-2201. (ZHONG Xing, ZHANG Wei, TIAN Xiaochen, et al. Runoff pollutants purification effect of bioretention media improved by black-odorous river sediments [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2018, 12(8):2193-2201. (in Chinese))
- [15] O'NEILL S W, DAVIS A P. Water treatment residual as a bioretention amendment for Phosphorus. I: Evaluation Studies [J]. Journal of Environmental Engineering, 2012, 138(3):318-327.
- [16] 刘增超,李家科,蒋春博,等.4种生物滞留填料对径流污染净化效果对比[J].水资源保护,2018,34(4):71-79. (LIU Zengchao, LI Jiake, JIANG Chunbo, et al. Comparison of purification effects of 4 kinds of bioretention fillers on runoff pollutants [J]. Water Resource Protection, 2018, 34(4):71-79. (in Chinese))
- [17] 仇付国,王珂,于栋,等.沸石改良雨水生物滞留系统去除污染物研究[J].环境科学与技术,2018,41(3):124-129. (QIU Fuguo, WANG Ke, YU Dong, et al. Study on removal of pollutants by zeolite modified bioretention system [J]. Environmental Science & Technology, 2018, 41(3):124-129. (in Chinese))
- [18] PALMER E T, POOR C J, HINMAN C, et al. Nitrate and phosphate removal through enhanced bioretention media: mesocosm study [J]. Water Environment Research, 2013, 85(9):823-832.

(收稿日期:2020-01-31 编辑:彭桃英)

· 征订启事 ·

《水资源保护》征订启事

《水资源保护》(ISSN 1004-6933, CN 32-1356/TV)是水利部主管、河海大学和中国水利学会环境水利专业委员会共同主办的科技期刊,针对我国水资源短缺、水污染严重、水环境恶化等突出问题,探讨水资源保护工作中的基础研究、宏观管理及水环境治理、水生态修复等问题,主要栏目有“特约专家论坛”“水资源”“水环境”“水生态”等。

《水资源保护》1985年创刊。经过30多年的努力,《水资源保护》办刊成绩斐然,目前是中国科学引文数据库(CSCD)来源期刊、中文核心期刊、中国科技核心期刊、RCCSE中国权威学术期刊、中国精品科技期刊、中国高校百佳科技期刊,被美国化学文摘(CA)、波兰哥白尼索引(IC)等数据库收录。

《水资源保护》长期以来一直都是水利界和环保界备受关注的重点期刊,是国内较有影响的水利期刊之一,主要读者对象是全国从事与水资源保护工作有关的科技人员、管理人员以及大专院校师生。

《水资源保护》现为双月刊,30元/册,全年共计180元,每逢单月20日出版。邮发代号:28-298。

地址:210098 南京市西康路1号 电话:(025)83786642

电子信箱:bh1985@vip.163.com;bh@hhu.edu.cn