

问题探讨

雨水花园的研究进展、关键问题和研究设想

农喻佳¹, 杨正委¹, 任拥政¹, 殷利华²

(1. 华中科技大学环境科学与工程学院, 湖北 武汉 430074;

2. 华中科技大学建筑与城市规划学院, 湖北 武汉 430074)

摘要:雨水花园作为低影响开发的主要措施之一, 在径流量和水质控制方面具有显著效果, 被广泛应用于海绵城市建设。文章就雨水花园的研究进展、关键问题进行阐述, 针对雨水花园中硝态氮去除不稳定的问题提出 3 个研究方向: 在雨水花园介质中引入缺氧区, 种植对硝态氮利用效率高的特定植物, 寻找吸附硝态氮的新型介质。

关键词:雨水花园; 低影响开发; 径流量; 污染控制; 硝态氮

中图分类号: X26 文献标识码: A 文章编号: 1006-8759(2018)03-0030-04

THE RESEARCH PROGRESS, KEY ISSUES AND RESEARCH IDEAS OF RAIN GARDEN

NONG Yu-jia¹, YANG Zheng-wei¹, REN Yong-zheng¹, YIN Li-hua^{2*}

(1. School of Environmental Science & Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China; 2. School of Architecture & Urban Planning, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: Rain garden is one of the main measures of low impact development, which has a significant effect on runoff and water quality control. It is widely used in the construction of sponge city. In this paper, the research progress and the key issues of rain garden were expounded. Three research fields regarding unstable removal of Nitrate nitrogen in rain gardens were put forward, which were introducing anoxic region into the medium of rain garden, planting plants with high utilization efficiency of nitrate-nitrogen and seeking for new materials to adsorb nitrate-nitrogen.

Key words: Rain garden; Low impact development; Runoff; Pollution control; Nitrate-nitrogen.

1 低影响开发和雨水花园

低影响开发兴起于美国, 其内涵与英国的可持续排水系统、澳大利亚的城市水敏性设计、德国的分散型雨水管理以及我国现在提倡的海绵城市类似。LID 以维持或重现城市化前的水文状况为目的, 从源头管理雨水, 采用自然生态系统或人工

模拟自然生态系统的一系列产品、技术和措施, 来保证区域整体的环境质量, 并为整个区域提供有效服务。

LID 典型措施有: 雨水花园(生物滞留池)、渗透铺装、绿色屋顶、景观水体、植草沟、多功能调蓄设施、雨水塘、雨水湿地等。这些措施可以实现削减径流系数、控制径流水质、利用雨水资源、降低管道的溢流量和溢流频率、滞留调节径流峰值、营造生态化景观等多种功能。

雨水花园, 又称生物滞留池。具体而言是在低洼处设置小花园, 用来收集并利用雨水、减少因城

收稿日期: 2018-01-09

基金项目: 国家自然科学基金项目: 桥阴海绵体空间形态及景观绩效研究(51678260); 华中科技大学大学生创新创业训练计划校级项目(16A140)

第一作者简介: 农喻佳(1995-), 女, 四川自贡, 华中科技大学环境科学与工程学院给排水科学与工程本科专业本科生。

市化建设而产生的不透水地面引发的一系列地表径流问题。雨水花园的主要功能包括:1) 雨水花园植物的截流、土壤的渗透作用削减洪峰流量,延缓洪峰出现时间;2) 植物和介质层作用去除有机物、氮、磷等污染物;3) 植被的蒸腾作用与雨水的蒸发作用调节环境温度。由于生物滞留池的运转类似于自然和非城市的区域^[1],因此它们可以有效地用来控制径流、消减洪峰、消减污染物负荷、促进渗透和蒸散发、补给地下水、保护河流渠道等^[2]。

2 雨水花园的研究进展

2.1 雨水花园的水文效应

雨水花园的水文效应方面研究在近几年逐渐得到重视,其中大多是通过构建研究模型进行研究的。孙艳伟等^[3]利用 SWMM 和 RECARGA 软件模拟研究,证实了雨水花园具有显著的水文调控功能;郭娉婷等^[4]运用 SWMM 模型研究了雨水花园构造介质深度对径流量控制效果的影响;宋奔奔等^[5]利用 SWMM 中的低影响开发模块,发现在降雨低重现期下,雨水花园的雨洪控制效果较好;相同重现期时,规模较大的雨水花园比规模小的效果好。并且雨水花园布置的越分散,径流系数的降低效果越好,但是削减洪峰的效果较差。也有一些学者通过实验研究了雨水花园对径流量的调控功能。潘国艳等^[6]试验发现,生物滞留池对径流总量的削减率为 12.83%~48.12%,对洪峰的平均削减率为 70.85%。DeBusk and Wynn^[7]通过实验发现,在停车场改良的雨水花园可以将径流流速和径流流量分别减少 97%和 99%。唐双成等^[8]通过实地检测,分析了雨水花园对暴雨径流的削减效果。在历时 4 年的 28 场暴雨的检测中,仅有 4 场暴雨径流流入雨水花园后发生溢流,由此可见雨水花园对减少暴雨径流的显著效果,并且发现导致雨水花园发生溢流的均为短历时高强度暴雨。颜乐等^[9]研究表明,雨强大小与径流量和流速的消减作用息息相关。雨强小的时候,雨水花园能够容易地截留全部的入流量。

2.2 雨水花园的污染控制

雨水花园对地表径流的水质有很好的净化效果。研究发现,雨水花园对总悬浮物(TSS)、总磷(TP)和总氮(TN)的消减范围分别在 55%~100%、31%~100%和 32%~99%^[10]。雨水花园对 COD 也有很好的去除率。但雨水花园处理后的水中

TSS 和 COD 的排放量远远超过城市化前,TP 和 TN 的排放量接近城市化前的自然状态^[11]。生物滞留池对悬浮物和大部分营养物质的消减效果明显,但对硝态氮的消减效果不明显。Davis 等^[12]研究结果表明,雨水花园对 TP 的去除率在 70%~85%,总凯氏氮(TKN)的去除率在 55%~65%,但对硝态氮的去除率却低于 20%。Dietz 等^[13]研究发现,土壤中含有饱和区的雨水花园可以提高污染物的去除效果。Ergas 等^[14]研究认为,在雨水花园的介质中引入缺氧区域可以促进反硝化过程。李立青等^[15]设计了 3 种不同的雨水花园,发现不设饱和区对硝态氮去除率为 31.3%,设计饱和区对硝态氮的去除率大大提高至 85.7%,在饱和区中添加木块作为碳源时,对硝态氮去除率达到 95.6%。因此,添加碳源也可以大大提高硝态氮去除率。这与 Kim 等^[16]的研究结果类似,他指出报纸屑是很好的反硝化反应的碳源,通过在沙层中混合报纸屑创造缺氧区的雨水花园可以实现较高的硝态氮去除率。

雨水花园对径流中金属也有较好的去除,其中对 Cu、Pb、Zn 的去除率分别为 65%~99%、32%~100%和 60%~99%。研究发现,在介质(特别是在沙土壤介质)中加入粉煤灰可以提高雨水花园对金属的滞留能力^[17]。但是,雨水花园介质对重金属的吸附能力有限,随着重金属量的不断积累,可能会威胁人类健康。

2.3 雨水花园的构造研究

2.3.1 介质填充

雨水花园的介质类型对其净化效果具有重要影响。前已述及,在介质中加入粉煤灰可以提高金属去除率。郭娉婷、王建龙等^[18]开展了粗砂、细沙、黏土、建筑垃圾作为介质的研究,发现各种介质污染物的去除能力依次为黏土>细沙>粗砂>建筑垃圾;并且发现建筑垃圾的粒径越小,对径流雨水中污染物净化效果越好。在填料配比组合的优化研究方面,罗艳红^[19]基于除 P 效果,通过试验优选出 90%河沙+5%粉煤灰+5%有机物的混合物为改良填料的最佳配比。但是关于介质填充不同组合对其他污染物的去除还少有研究,因此需要进一步深入研究有关介质填充的问题,以达到更好的效果。

2.3.2 植物选择

雨水花园是靠土壤与植物共同作用来截留污

染、消纳雨水的,因此筛选适用的植物是雨水花园发挥功能的重要影响因素。雨水花园的环境特点是干湿交替、污染物集中,针对这样的植物生长环境,选择不同的植物,能表现出不同的生长状况,对雨水消纳和污染物的去除效果也会不同^[20]。雨水花园植物选择的原则是优先选用乡土植物、选用根系发达的植物、选用抗性强的植物、选用景观效果好的植物^[21]。

2.4 雨水花园的国内外应用

随着雨水花园的发展,目前世界各国已普遍展开雨水花园建设。国外已有许多优秀的典范案例,包括美国的唐纳德溪水公园、波特兰的绿色街道以及德国汉诺威 Kronsberg 的雨水花园。唐纳德溪水公园充分利用地形从南至北递降的特点因地制宜的种植不同植物,很好的收集了雨水,净化了水质,多余的雨水流入水池进行贮存,成为雨水花园的典范^[22]。

近年来,随着海绵城市的不断推广,在我国深圳、武汉、重庆、南京、上海、北京、成都等地也陆续有雨水花园的项目实践,其中以成都活水公园最为知名。成都活水公园将景观学、生态学、建筑学合为一体,种植了具有较强净化水质能力和生长能力的凤眼莲、睡莲等有观赏价值的水生植物,形成5个植物塘、12个植物床,加之“鱼”形的外观设计,成为舒适的人工模拟自然生态系统^[23]。

3 雨水花园的关键问题

3.1 对雨水花园的水文效应研究尚浅

具体表现在两个方面,模型模拟和长期监测。上述已提及 SWMM 模型,是目前广泛应用于雨水花园的模型之一^[24]。由于长期监测数据不易,很多模拟工作都是对研究对象抽象化的情景,缺乏实际监测数据验证,导致模拟结果不准确,难以指导雨水花园的实际推广。而且模型的应用需要深入分析和专业技能,一般公众的操作应用能力有限,不能较好的使用。因此需要在模型上进一步改进或者开发新的模型,更准确地模拟水文水质变化,提供更有价值的信息。另外,大多数监测数据都是短期数据,不足以验证雨水花园的长期效果,因此需要深入研究、长期监测,以验证雨水花园长期、持久的效应。

3.2 污染控制机理不明确

上述提及,雨水花园对 TP、TN 去除效果较

好,基本达到城市化前的自然状态。但是对 TSS、COD 的去除还达不到城市化前的自然状态,对硝态氮的去除不稳定,对重金属的去除目前只有关于用介质吸附的研究,并存在潜在威胁,这些因素都在限制雨水花园的广泛应用。因此在雨水花园的污染控制问题上应该进一步加大研究,从整体构造、填料配比、植物选择等各方面进行深入研究,力求达到更好的污染控制效果。

3.3 对构造研究不够深入

主要表现在两个方面,填料配比和植物选择。前已述及,雨水花园的介质填充对其净化效果有很大影响。各种填充介质的净化能力都不同,不同的填料组合对污染物的去除效果也不同。目前已有部分学者开始研究这方面问题,但是不够全面。因此需要进一步研究填充介质,针对不同情况以及净化目标,有针对性的选取不同介质和填料组合。

4 雨水花园的研究设想

雨水花园对硝态氮的去除不稳定。本设想以此为对象,通过多种方式综合研究,提高硝态氮去除率,并使其稳定在较高水平。

4.1 在雨水花园介质中引入缺氧区

污水中氮的转化过程如下:污水中含氮化合物在氨化菌的作用下转化为氨态氮,氨态氮在亚硝化菌和硝化菌的作用下转化为亚硝酸氮和硝酸氮,最后硝酸氮和亚硝酸氮在反硝化细菌的作用下还原为 N_2 、 NO 、 N_2O ,从而从污水中去除。上述三个过程中,前两个过程均在好氧环境下进行,而雨水花园构造中本身就含有很多缝隙,制造了好氧环境,因此可以将有机氮转化为硝态氮。但第三个过程即硝态氮、亚硝态氮反硝化的过程中需要缺氧环境,由于普通的雨水花园无法创造缺氧环境,因此硝态氮去除不稳定,甚至高于径流雨水中硝态氮的含量。因此,在雨水花园介质中引入缺氧区有利于硝态氮的去除。引入缺氧区可以通过设置淹没区来实现。通过淹没区的设置与否和淹没区的设置高度分别检测硝态氮的去除效果。要注意的是,反硝化过程需要碳源,因此在实验时需外加碳源,以保证反硝化的顺利进行。

4.2 寻找对硝态氮利用效率较高的植物

植物吸收硝态氮也是去除硝态氮的一种方法。有研究表明,黄顶菊对氮肥的响应高于高丹

草^[25]。因此可以探究不同植物对硝态氮的利用效率,在植物的选择上,适量搭配对硝态氮利用效率较高的植物,以提高硝态氮的去除率。

4.3 寻找新型介质吸附硝态氮

硝态氮的去除并非只有生物化学作用,物理吸附也是一大去除方法。沙土、黏土、矿石等天然填料,化合物、化工废弃物等人工填料由于较好的吸附性也有很多学者研究^[26,27],但对硝态氮的吸附仍然不够稳定。李丽等^[28]研究了用铁改性的两种生物炭(花生壳炭、小麦秸秆炭)对硝态氮的吸附特性,发现了其对硝态氮吸附的巨大潜力。但目前关于生物炭用于雨水花园填料的研究尚少,应用于吸附硝态氮的尚无研究。因此将生物炭引用到雨水花园的填料中,探究其对硝态氮的吸附效果。

综上所述,针对雨水花园对硝态氮去除不稳定的问题,应从引入缺氧区、种植特定植物、填入新型介质三个方面进行实验研究,并将实验成果转化工程实践,以在实际中验证实验,使研究发挥实际效益。

参考文献

- [1] DeBusk KM, Hunt WF, Line DE. Bioretention outflow: Does it mimic nonurban watershed shallow interflow? *Journal of Hydrologic Engineering*, 2010, 16: 274–279.
- [2] 王思思,程慧,车伍等.《嘉兴市分散式雨水控制利用系统技术导则》编制概要.中国给水排水, 2014.
- [3] 孙艳伟.城市化和低影响发展的生态水文效应研究[D].杨凌:西北农林科技大学, 2011.
- [4] 郭婷婷.生物滞留设施生态水文效应研究[D].北京:北京建筑大学, 2015.
- [5] SONG Benben. Spatial and temporal hydrological responses of arrangement of bioretention cell based on SWMM. *Water Resources Protection*, 2015.
- [6] 潘国艳,夏军,张翔等.生物滞留池水文效应的模拟试验研究[J].水电能源科学, 2012(5): 13–15.
- [7] DeBusk, K. M., & Wynn, K. M. Storm-water bioretention for runoff quality and quantity mitigation. *Journal of Environmental Engineering*, 2011, 137: 800–808.
- [8] 唐双成,罗纨.雨水花园对暴雨径流的削减效果.水科学进展, 2015.
- [9] Davis AP. Field performance of bioretention: Hydrology impacts. *Journal of Hydrologic Engineering*, 2008, 13: 90–95.
- [10] 刘文,陈卫平.城市雨洪管理低影响开发技术研究与应用进展.北京:中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 2015.
- [11] 李春林,刘森.基于暴雨径流管理模型(SWMM)的海绵城市低影响开发措施控制效果模拟.中国科学院沈阳应用生态研究所, 2017.
- [12] Davis AP, Shokouhian M, Sharma H. Water quality improvement through bioretention media: Nitrogen and phosphorus removal. *Water Environment Research*, 2006, 78: 284–293.
- [13] Dietz ME, Clausen JC. Saturation to improve pollutant retention in a rain garden. *Environmental Science & Technology*, 2006, 40: 1335–1340.
- [14] Ergas SJ, Sengupta S, Siegel R. Performance of nitrogen-removing bioretention systems for control of agricultural runoff. *Journal of Environmental Engineering*, 2010, 136: 1105–1112.
- [15] 李立青,胡楠.3种生物滞留设计对城市地表径流溶解性氮的去除作用.武汉:中国地质大学, 2017.
- [16] Kim H, Seagren EA, Davis AP. Engineered bioretention for removal of nitrate from stormwater runoff. *Water Environment Research*, 2003, 75: 355–367.
- [17] Zhang W, Brown G, Storm D. Enhancement of heavy metals retention in sandy soil by amendment with flyash. *Transactions of the American Society of Agricultural Biological Engineers*, 2008, 51: 1247–1254.
- [18] 郭婷婷,王建龙.生物滞留介质类型对径流雨水净化效果的影响.环境科学与技术, 2016.
- [19] 罗艳红.雨水生物滞留设施对道路径流中氮磷的控制效果研究及应用[D].北京:北京建筑大学, 2013.
- [20] Lewis J F, Hatt B E, Deletic A. The impact of vegetation on the hydraulic conductivity of stormwater biofiltration system[A]. 11th International Conference on Urban Drainage[C]. Edinburgh, Scotland, UK, 2008.
- [21] 单进.雨水花园植物选择与搭配研究.山西建筑, 2017.
- [22] 孙奎利,孙奎永等.国外雨水花园建设实践及经验启示.山西建筑, 2014.
- [23] 曾忠忠.城市湿地的设计与分析——以波特兰雨水花园与成都活水公园为例.景观设计理论, 2007.
- [24] 蔡庆拟,陈志和.低影响开发措施的城市雨洪控制效果模拟.水资源保护, 2017.
- [25] 皇甫超河.增施氮肥对黄顶菊与高丹草苗期竞争的影响.生态环境学报, 2010, 19(3): 672–678.
- [26] 殷利华.雨水花园构造及填料去污性能研究综述.风景园林工程, 2016.
- [27] 许萍.模拟生物滞留池强化径流雨水中的氮磷去除研究.环境科学与技术, 2017.
- [28] 李丽.固定化改性生物炭模拟吸附水体硝态氮潜力研究.农业环境科学学报, 2015.