

李妍汶,王海洋,李 慧,等. 4 种植物所构建的滞留系统调控道路雨水的效用[J]. 江苏农业科学,2019,47(5):208–212.
doi:10.15889/j.issn.1002–1302.2019.05.051

4 种植物所构建的滞留系统调控道路雨水的效用

李妍汶,王海洋,李 慧,张自豪,张丹华

(西南大学园艺园林学院,重庆 400715)

摘要:在生物滞留系统中,通过模拟自然降雨强度,对 4 种地被植物调蓄道路雨水以及自身耐水淹抗旱能力进行研究。结果表明:(1)植物层滞留雨水时间为 4.8~14.0 h,系统可以滞留雨水 7.0~17.9 h,且随着进水量的加大,植物层和系统层差异显著($P<0.05$)。在基质相同的条件下,同种植物在不同进水量情况下滞留雨水时间差异极显著($P<0.01$),不同植物在相同进水量条件下滞留雨水时间差异显著($P<0.05$)。(2)3 种降雨强度不同植物系统的蒸发量与植物蒸腾量不超过 7%,生物滞留系统基质蓄水量稳定在 13.68 L/m³。(3)4 种地被植物在不同水分处理的适应能力均可作为道路地被植物,且推荐依次为狼尾草、头花蓼、地瓜藤、玉龙草。

关键词:生物滞留;道路雨水;地被植物;适应能力

中图分类号: X171.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002–1302(2019)05–0208–05

生物滞留,作为一种新型的雨洪管理技术是海绵城市的重要组成部分。目前国内外对道路生物滞留方面研究主要集中在水文效应^[1]、生物滞留池的模型与结构^[2–3]、净化水质效用^[4]、透水路面^[5]等方面。没有研究系统与不同植物对不同降雨强度“滞”与“蓄”的能力,对一些耐淹抗旱的本土野生植物的开发重视不够^[6],且忽略了植物本身的造景美化功能等。本研究通过模拟道路雨水径流,比较 4 种植物在道路两

边生长的适应能力以及在生物滞留系统中调控道路雨水的效用,对指导选择适当植物与解决城市雨水问题具有切实意义。

1 试验区域与方法

1.1 试验区域概况

试验场地位于重庆市北碚区西南大学,降水主要集中在的 5~10 月^[7]。道路雨水采样点选在西南大学沥青道路,双向车道,地长 10 m、宽 5 m,坡度 3.5°,车流量 96 辆/h,只有 1 个雨水篦。

1.2 生物滞留系统设计

1.2.1 植物选择 选择适宜在重庆地区道路旁生长,具有耐淹抗旱性质和观赏价值的头花蓼 (*Polygonum capitatum*)、玉龙草 (*Ophiopogon bodinieri*)、狼尾草 (*Pennisetum alopecuroides*)、地瓜藤 (*Caulis Fici Tikouae*)^[8–9] 4 种植物。种

收稿日期:2017–01–06

基金项目:重庆市应用开发计划(编号:cstc2014yykfA9001)。

作者简介:李妍汶(1991—),女,河南新乡人,硕士研究生,助理园林工程师,主要从事风景园林生态研究。E-mail: lean0705@foxmail.com。

通信作者:王海洋,博士,硕士研究生导师,主要从事生态学与植物学研究。E-mail: whyswau@126.com。

[15]陈忠林,王 洋,关 伟,等. 离子液体[C₂mim][Val]对小麦幼苗生长及生理特性的影响[J]. 农业环境科学学报,2011,30(8):1508–1513.

[16]董 莹,张淑娴,刘惠君. 两种咪唑氯盐类离子液体对水稻幼苗根部的毒性效应[J]. 环境科学学报,2015,35(10):3384–3389.

[17]Balczewski P, Bachowska B, Bialas T, et al. Synthesis and phytotoxicity of new ionic liquids incorporating chiral cations and/or chiral anions[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2007, 55(5):1881–1892.

[18]井长勤,陈红丽,李效宇. 离子液体氯化 1–辛基–3–甲基咪唑对 EMT6 细胞的毒性及其机理研究[J]. 环境科学学报,2013,33(6):1809–1814.

[19]Kolwankar K M, Ren Q, Samal A, et al. Learning and structure of neuronal networks[J]. Pramana, 2011, 77(5):817–826.

[20]Swatloski R P, Holbrey J D, Memon S B, et al. Using caenorhabditis elegans to probe toxicity of 1–alkyl–3–methylimidazolium chloride based ionic liquids[J]. Chemical Communications, 2004, 35(6):668–669.

[21]Siedlecka E M, Mrozik W, Kaczynski Z, et al. Degradation of 1–butyl–3–methylimidazolium chloride ionic liquid in a Fenton–like system[J]. Journal of Hazardous Materials, 2008, 154(1/2/3):893–900.

[22]Stepnowski P, Zaleska A. Comparison of different advanced oxidation processes for the degradation of room temperature ionic liquids[J]. Journal of Photochemistry & Photobiology a Chemistry, 2005, 170(1):45–50.

[23]Stolte S, Abdulkarim S, Arming J, et al. Primary biodegradation of ionic liquid cations, identification of degradation products of 1–methyl–3–octylimidazolium chloride and electrochemical wastewater treatment of poorly biodegradable compounds[J]. Green Chemistry, 2008, 10(2):214–224.

[24]Docherty K M, Dixon J K, Kulpa C F. Biodegradability of imidazolium and pyridinium ionic liquids by an activated sludge microbial community[J]. Biodegradation, 2007, 18(4):481–493.

[25]Gathergood N, Garcia M T, Scammells P J. Biodegradable ionic liquids: part I. Concept, preliminary targets and evaluation[J]. Green Chemistry, 2004, 6(3):166–175.

植密度分别为 25 株/ m^2 、40 株/ m^2 、100 株/ m^2 、27 枝/ m^2 。

1.2.2 生物滞留系统设计 根据海绵城市技术指南中的复杂型生物滞留设施各项要求(蓄水层 200 ~ 300 mm, 覆盖层 50 ~ 100 mm, 土壤 250 ~ 1 200 mm, 沙 100 mm, 砾石 200 ~ 300 mm), 模拟定量试验于 5 个面积为 2 m^2 (长 1 m, 宽 2 m), 高 1 m 的箱子。从下至上分别是 200 mm 砾石、100 mm 沙子、400 mm 土壤、50 mm 的覆盖层, 250 mm 的蓄水区。其中砾石粒径为 10 mm, 沙子容重为 1.41 g/cm^3 , 土壤容重为 1.49 g/cm^3 。开有上下 2 个出水口, 分别位于蓄水区以下以及砾石层以下。没有考虑雨水溢流管接雨水管渠, 直接研究

模拟生物滞留设施滞蓄的效果。

1.3 试验处理与测定

1.3.1 进水设计

1.3.1.1 试验场地降雨特点 降雨雨强采用杭州路格科技 L99-YL 智能雨量记录仪, 安置在实验场地, 每 5 min 记录 1 次数据(图 1)。经分析数据可得, 4、5、6、7、8 月的降雨量分别为 72.3、111.5、312、177.5、17.6 mm, 降雨次数分别是 195、173、140、56、7 次。8 月少降雨, 处于干旱期。小雨、中雨、大雨的概率较大, 且小雨占绝大数, 暴雨集中出现在 5—7 月, 次数较少, 降雨多发于夜晚(图 2)。

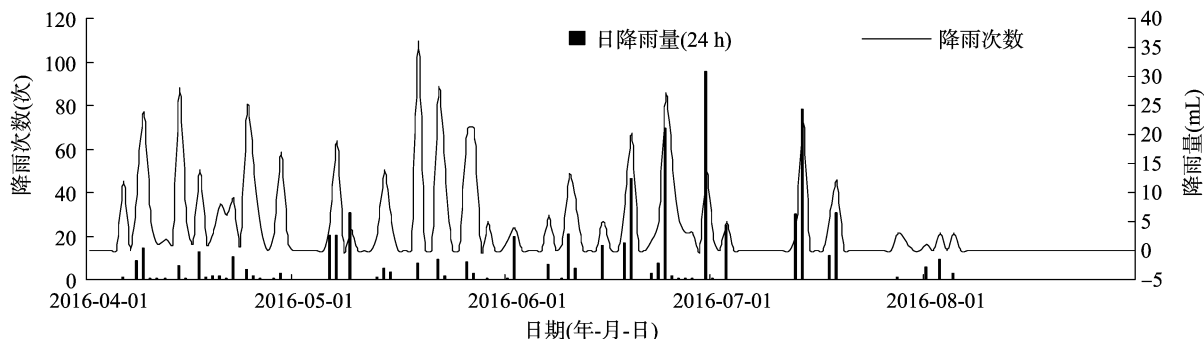


图1 2016年4—8月北碚区降雨强度分配

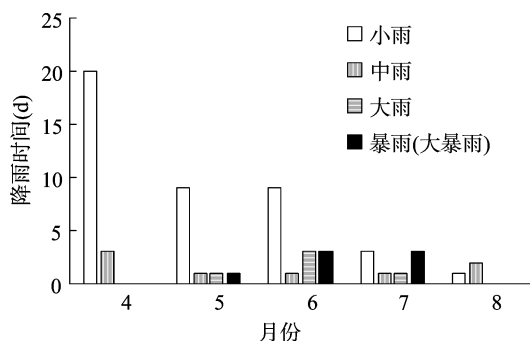


图2 2016年4—8月北碚区降雨强度分配

1.3.1.2 进水径流量设计 根据我国降雨等级表(中国气象局)3种降雨强度的最大值, 将小雨、中雨、大雨 12 h 的降雨量分别设为 5、15、30 mm。测定沥青路面道路径流系数约为 0.9。经计算, 小雨、中雨、大雨 50 m^2 道路 1.5 h 进水量分别为 30、90、170 L。

1.3.2 指标测定

1.3.2.1 植物层与系统滞留雨水时间与水量的测定^[6] 生物滞留设施中的 4 种不同植物加上对照组共 5 组处理。植物层测定为上开下关, 从蓄水区出水; 系统滞留为上关下开, 从系统底部出水。不同的降雨类型(小雨、中雨、大雨)分别重复 3 次, 共计 90 组。试验处理 1、2、3 是 4 种植物在小雨、中雨、大雨 3 种情况下模拟植物层出水的情况。试验处理 4、5、6 是 4 种植物在小雨、中雨、大雨 3 种情况下模拟整个系统层出水的情况。倾倒配制溶液 1.5 h, 每 5 min 对出水量测定 1 次, 直至水流完, 测定出植物层与系统延缓雨水的时间与水量。

1.3.2.2 系统雨水分配比例和生物滞留系统蓄水量的测定 通过对系统设计的进水量、测量的出水量、土壤含水量, 在误差范围内, 计算出植物蒸腾量, 并比较 4 种植物的异同。

1.3.2.3 植物在不同水处理下适应能力测定 2016 年 4—8

月进行试验, 记录和测定 4 种地被植物在小雨、中雨、大雨、正常灌水、停止灌水 5 d、停止灌水 10 d 时的生长特性(存活率、株高、总叶片数、形态、地上地下生物量)和生理特性(叶片和土壤水势)。

2 结果与分析

2.1 植物层滞留雨水时间的比较

在模拟的生物滞留系统处理 1、2、3 中, 植物层滞留雨水时间为 4.8 ~ 14 h, 占生物滞留系统总体滞留时间的 73.56%, 其中滞留小雨 4 ~ 8 h, 中雨 7 ~ 12 h, 大雨 8 ~ 14 h。不同降雨条件下, 4 种植物滞留雨水的情况不同, 整体上出水平稳。随着雨强的不断加大, 植物可以延缓雨水的时间也越长。总体上按滞留时间长短可排序为狼尾草 > 地瓜藤 > 头花蓼 > 玉龙草。

对 4 种植物在不同降雨条件下滞留雨水时间进行方差分析(表 1)可知, 同种植物在不同进水量情况下滞留雨水时间差异极显著($P < 0.01$), 不同植物在相同进水量条件下滞留雨水时间差异显著($P < 0.05$), 但整体来说, 头花蓼与玉龙草滞留雨水时间差异不显著($P > 0.05$), 与狼尾草和地瓜藤滞留雨水时间显著($P < 0.05$)。

2.2 整体系统滞留雨水时间与水量的比较

在模拟的不同雨强的道路径流处理 4、5、6 下, 系统整体滞留雨水时间为 7.0 ~ 17.8 h。雨水经过整个系统后流速变慢, 在植物根、茎、叶中的滞留以及基质滞蓄的双重作用下, 初始阶段, 土壤湿度增加, 系统并不出水。随着基质逐渐达到饱和, 系统开始出水, 流速逐渐增大, 在一定时间段, 流速达到最大, 而后持续平稳流速(图 3)。

总体上, 不管在任何降雨类型下, 按照滞蓄时长可排序为狼尾草 + 基质 > 地瓜藤 + 基质 > 头花蓼 + 基质 > 玉龙草 + 基质。

表 1 植物层不同进水量下不同植物雨水滞留时间方差分析

进水量 (L)	处理植物的滞留雨水时间(h)			
	狼尾草	地瓜藤	头花蓼	玉龙草
30	8.00 ± 0.08Ca	7.30 ± 0.06Cb	5.65 ± 0.06Cc	4.80 ± 0.05Cd
90	12.10 ± 0.12Ba	9.31 ± 0.09Bb	8.10 ± 0.08Bc	7.60 ± 0.07Bd
170	14.00 ± 0.14Aa	11.51 ± 0.13Ab	9.30 ± 0.09Ac	8.20 ± 0.08Ad
平均值	11.39 ± 3.03a	9.37 ± 2.10b	7.68 ± 1.86c	6.87 ± 1.81c

注:同列不同大写字母表示差异极显著($P < 0.01$),同行不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。下表同。

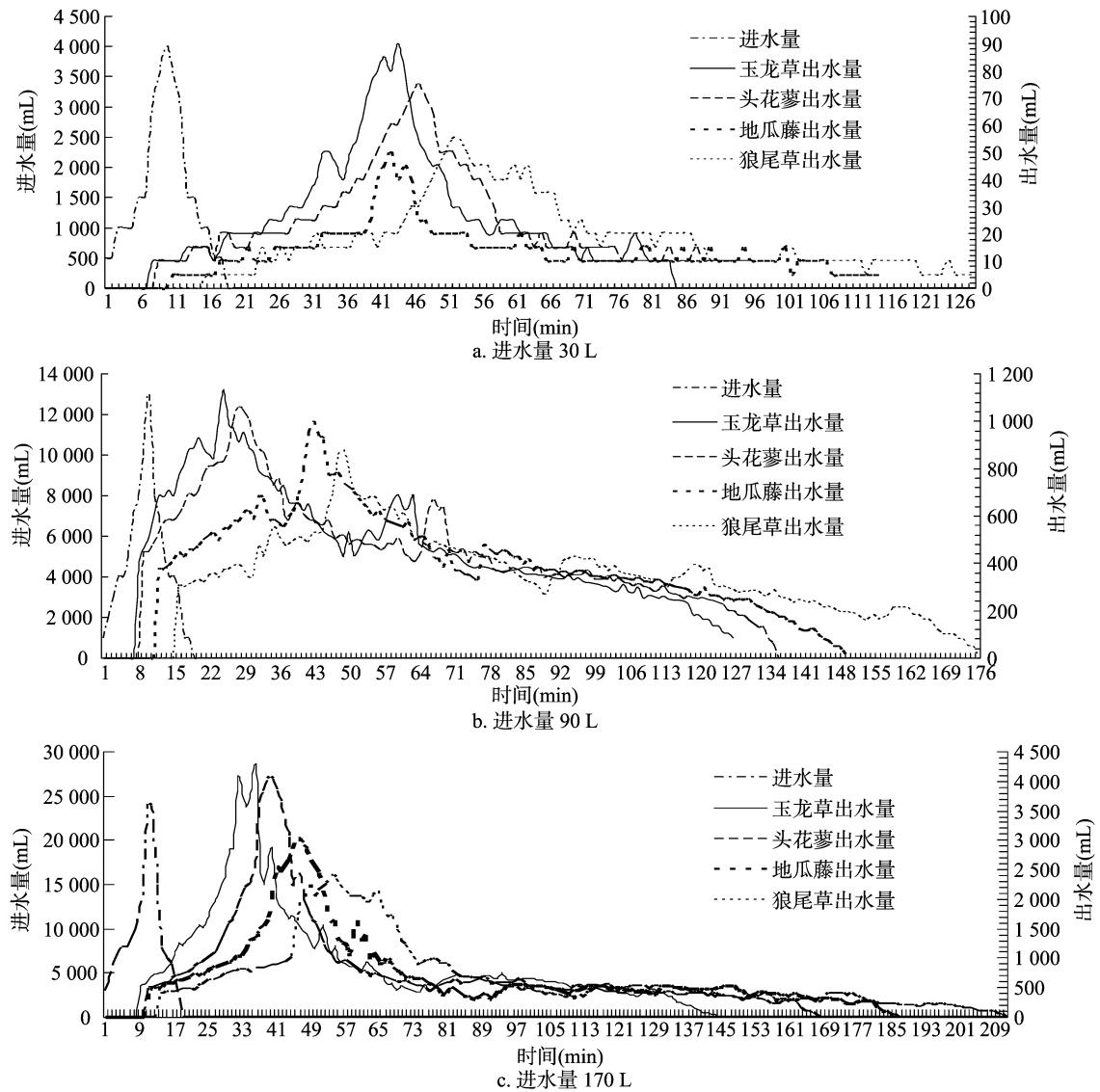


图3 生物滞留系统在不同雨强下进出水动态变化

在基质相同的基础上,植物的作用显而易见。植物和基质的滞蓄效果明显好于单一种植植物,并随着雨强的增大,基质的效用越来越明显。对 4 种植物在不同降雨条件下滞留雨水

时间进行方差分析(表 2)可知,同种植物在不同进水量情况下滞留雨水时间差异极显著($P < 0.01$),不同植物在相同进水量条件下滞留雨水时间差异显著($P < 0.05$)。

表 2 系统层不同进水量下不同植物雨水滞留时间方差分析

进水量 (L)	各处理植物的滞留时间(h)			
	狼尾草	地瓜藤	头花蓼	玉龙草
30	10.83 ± 0.13Ca	9.58 ± 0.11Cb	8.08 ± 0.09Cc	7.01 ± 0.07Cd
90	14.67 ± 0.17Ba	12.50 ± 0.17Bb	11.33 ± 0.16Bc	10.58 ± 0.15Bd
170	17.67 ± 0.21Aa	15.58 ± 0.11Ab	14.00 ± 0.14Ac	12.08 ± 0.19Ad
平均值	14.39 ± 3.43a	12.55 ± 3.00b	11.14 ± 2.96c	9.89 ± 2.60d

2.3 系统雨水分配比例和植物与系统蓄水过滤的能力比较

进水量增大,系统出水量增多且随之比例增大。不管是任何类型的降雨强度,不同种的植物,系统基质蓄水量稳定在 27.36 L。进水量比例增大,蓄水量比例相对减小,蒸发蒸腾量相对增加。不管在小雨、中雨、大雨的情况下,按照蒸发量都依次为地瓜藤>头花蓼>狼尾草>玉龙草。

在小雨、中雨、大雨 3 种情况下,生物滞留系统出水量占总水量的比例依次为 90.13%、65.01%、77.07%;蒸发与植物蒸腾量依次约为 3.25%、4.55%、6.67%,总体上没有超过 7%;土壤蓄水量基本不变,本次试验模拟了生物滞留池系统,2 m³ 可以蓄水约 27.36 L。

2.4 4 种地被植物在不同水分条件下的适应能力的比较

生物滞留池、生物滞留型植草沟等一系列雨水设施存在一些积水和干涸暴晒时间^[10]。植物在经过不同降雨强度的冲刷与淹和不同时长的暴晒与干旱后,形态、生长和生理特征会出现明显差异^[11]。

2.4.1 存活率与形态 小雨径流下,只有 4 种地被植物表现良好,没有死亡情况。模拟中雨和径流时,4 种植株出现不同程度的叶片发黄萎蔫甚至死亡,头花蓼叶片红色变暗淡,但在反复模拟试验后,4 种植株存活率都在 95% 以上,作为生物滞留设施地被植物,表现型良好。停止灌水后,4 种地被草本形态上发生了明显的变化。随着干旱程度的加重,停止灌水 15 d 后,玉龙草一部分死亡,地瓜藤部分叶片干枯与死亡,头花蓼叶片部分干枯卷曲,红色变浅,狼尾草叶片少部分枯黄,大部分低垂。

2.4.2 接触地面叶子枯黄比例 通过雨季观察接触地面部分叶子枯黄情况作为耐湿性的评价指标^[12]。随着进水量的加大,4 种植株接触地面的叶子开始出现少许枯黄。接触地面叶子枯黄的比例为从大到小依次为玉龙草>地瓜藤>头花蓼>狼尾草。

2.4.3 株高 随着降雨径流强度的增大,株高也下降。在干旱条件下,株高都有所下降,且比径流淹没时明显多,说明对水分胁迫反应敏感。随着干旱胁迫程度的增大,株高下降的

趋势愈明显。4 种地被植物的株高对干旱敏感顺序从大到小依次为玉龙草>地瓜藤>头花蓼>狼尾草。

2.4.4 叶片数量 道路径流的淹没会影响 4 种地被植物叶片的分蘖。总的来说,4 种地被植物株高对径流淹没的敏感性顺序为地瓜藤>玉龙草>头花蓼>狼尾草。干旱程度的不同明显影响到 4 种地被植物的分蘖,并随着干旱程度的增大,叶片数量也下降。影响最大的是玉龙草,影响最小的是狼尾草。总的来说,4 种地被植物叶片数对于干旱敏感按从大到小的顺序为玉龙草>头花蓼>地瓜藤>狼尾草。

2.4.5 生物量 在道路雨水径流淹没胁迫后,4 种地被植物的地上地下生物量有不同程度的下降,总的来说,4 种地被植物地上生物量对径流淹没的敏感性顺序为地瓜藤>头花蓼>狼尾草>玉龙草,4 种地被植物地下生物量对径流淹没的敏感性顺序为玉龙草>狼尾草>头花蓼>地瓜藤。

随着干旱程度的不断加大,4 种地被植物的生物量不断下降且显著。其中,地上生物量下降最明显的是玉龙草,在轻度、重度胁迫下分别下降 41.01%、48.96%。表现最好的是狼尾草,在轻度和重度胁迫分别下降 27.96%、31.97%。

地下生物量下降最明显的是仍然是玉龙草,在轻度、重度胁迫下分别下降 26.35%、34.25%。最后仍然是狼尾草,在轻度、重度胁迫中分别下降 15.84%、21.53%。

综上所述,不管是地上生物量还是地下生物量,其对水分的敏感程度按照大小排序为玉龙草>地瓜藤>头花蓼>狼尾草。

2.4.6 土壤水势 随着干旱胁迫程度的加重,4 种地被植物土壤水势的绝对值也变大。其中,狼尾草的土壤水势绝对值一直保持较低水平,在干旱胁迫中最能利用土壤中的水分。其次是头花蓼和地瓜藤相近,最后是玉龙草。土壤水势绝对值变大速率由大到小依次为玉龙草>地瓜藤>头花蓼>狼尾草。对 4 种植物在不同水分条件下土壤水势进行方差分析(表 3)可知,同种植物的土壤水势在不同水分条件下与正常灌水比较差异极显著($P<0.01$),不同植物在相同灌水条件下差异显著($P<0.05$)。总体来说,狼尾草与地瓜藤和玉龙草差异显著($P<0.05$),头花蓼与玉龙草差异显著($P<0.05$)。

表 3 不同灌水条件下 4 种植物土壤水势方差分析

灌水处理	处理植物土壤水势(MPa)			
	狼尾草	地瓜藤	头花蓼	玉龙草
正常灌水	-0.77±0.01Aa	-1.39±0.06Ac	-1.28±0.04Ab	-1.47±0.08Ac
停止灌水 5 d	-3.84±0.11Ba	-5.75±0.15Bc	-4.94±0.13Bb	-6.98±0.17Bd
停止灌水 10 d	-8.27±0.14Ca	-10.93±0.19Cc	-9.89±0.15Cb	-12.33±0.23Cd
平均	-4.29±3.77a	-6.02±4.78bc	5.37±4.32ab	-6.93±5.43c

2.4.7 叶水势 同一生境条件下,抗旱性强的植物一般叶水势下降速度慢且幅度小,能保持其水分平衡;抗性弱的植物下降速度快,水分平衡保持差^[13-14]。随着干旱胁迫的加重,4 种地被植物的水势呈下降趋势,且变化规律为胁迫初期叶片水势变化缓慢,随着胁迫程度加重和时间延长,叶水势急剧下降。与正常灌水相比较,狼尾草叶水势变化幅度最小,在轻度、重度胁迫下分别下降 11.03%、71.46%。其次是头花蓼和地瓜藤,相差幅度不大。在轻度干旱胁迫下分别下降 60.69%、70.30%,在重度干旱胁迫下分别下降 190.88%、220.70%。变化幅度最大的是玉龙草,在轻度、重度胁迫下分

别下降 83.48%、277.49%。所以根据其下降幅度大小排序依次是玉龙草>地瓜藤>头花蓼>狼尾草(表 4)。对 4 种植物在不同水分条件下叶片水势进行方差分析可知,同种植物的叶片水势在不同水分条件下与正常灌水比较差异极显著($P<0.01$),不同植物在相同灌水条件下叶片水势差异显著($P<0.05$)(表 4)。

2.4.8 综合评价 根据阎晓容等的方法^[15],利用指标排序叠加法对 4 种地被植物在不同水分条件下综合能力进行评价。按照耐水淹能力中的存活率、接触地面叶子的枯黄比例、株高、叶片数、地上生物量和地下生物量 6 个因素以及抗旱能

表 4 不同灌水条件下 4 种植物叶水势方差分析

灌水处理	处理植物叶水势(MPa)			
	狼尾草	地瓜藤	头花蓼	玉龙草
正常灌水	-4.17 ± 0.07Ac	-3.14 ± 0.02Aa	-3.18 ± 0.01Aa	-3.51 ± 0.04Ab
停止灌水 5 d	-4.63 ± 0.03Ba	-5.63 ± 0.08Bc	-5.11 ± 0.05Bb	-6.44 ± 0.07Bd
停止灌水 10 d	-7.15 ± 0.11Ca	-10.07 ± 0.14Cc	-9.25 ± 0.07Cb	-13.25 ± 0.21Cd
平均值	-5.32 ± 1.60a	-6.28 ± 3.51a	-5.85 ± 3.10a	-7.73 ± 5.00a

力中形态、株高、叶片数量、地上地下生物量、土壤水势、叶片水势 7 个因素进行综合评价。各因素的第 1 名 4 分,第 2 名 3 分,第 3 名 2 分,第 4 名 1 分。最后将各指标的分值累计,分数越高的地被植物相应的耐水淹和抗旱综合能力越强。

在抗道路径流水淹能力中,4 种地被植物得分大小依次

为狼尾草>头花蓼>玉龙草>地瓜藤。在抗旱能力中,得分大小依次为狼尾草>头花蓼>地瓜藤>玉龙草(表 5)。综上所述,4 种地被植物综合耐水淹抗旱能力大小依次为狼尾草>头花蓼>地瓜藤>玉龙草。

表 5 4 种地被植物在不同水分条件下综合能力比较

地被植物	抗道路径流水淹能力得分							抗干旱能力得分							综合 能力得分	
	存活率	接触地面 叶子枯黄比例	株高	叶片数	地上 生物量	地下 生物量	小计	形态	株高	叶片 数量	地上 生物量	地下 生物量	土壤 水势	叶片 水势		小计
头花蓼	3	3	2	3	2	3	16	3	3	2	3	3	3	3	20	36
狼尾草	4	4	4	4	3	2	21	4	4	4	4	4	4	4	28	49
地瓜藤	1	2	1	1	1	4	10	2	2	3	2	2	2	2	15	25
玉龙草	2	1	3	2	4	1	13	1	1	1	1	1	1	1	7	20

3 结论

模拟的生物滞留系统中,植物层滞留雨水时间为 4.8~14.0 h,占生物滞留系统总体滞留时间的 73.56%。随着雨强的不断加大,植物可以延缓雨水的时间也越长。总体上,按滞留时间长短可排序为狼尾草>地瓜藤>头花蓼>玉龙草。

系统可以滞留雨水 7.0~17.9 h,在基质相同的基础上,植物的作用是显而易见的。植物和基质的滞蓄效果明显好于单一种植植物,并随着雨强的增大,基质的效用越来越明显。

不管是任何类型的降雨强度,不同种的植物系统的蒸发与植物蒸腾量不超过 7%,2 m³ 的生物滞留系统基质蓄水量稳定在 27.36 L。

在不同水分条件下的适应能力中,4 种地被植物得分大小依次为狼尾草>头花蓼>地瓜藤>玉龙草。玉龙草具有较强的耐水淹能力,观赏价值高。且 4 种植物均满足道路两边耐水淹耐干旱的条件,推荐使用。

所得结论可应用于道路、广场等生物滞留设施,例如在宽 5 m、长 10 m 的道路中,用 2 m³ 狼尾草种植的生物滞留系统可以延缓大雨 17 h 左右。

参考文献:

[1]张 军,张 松,柏双友,等. 生物滞留系统的水文效应与污染物的去除研究[J]. 环境工程,2015(8):17-21.
[2]马效芳,陶 权,姚 景,等. 生物滞留池用于城市雨水径流控制研究现状和展望[J]. 环境工程,2015(6):6-9,29.
[3]高晓丽. 道路雨水生物滞留系统内填料的研究[D]. 太原:太原

理工大学,2014.
[4]孟莹莹,王会肖,张书函,等. 基于生物滞留的城市道路雨水滞蓄净化效果试验研究[J]. 北京师范大学学报(自然科学版),2013(增刊1):286-291.
[5]秦 伟. 透水路面-生物滞留联合应用设计及应用研究[D]. 北京:北京建筑大学,2014.
[6]杨世蜀,王海洋. 人工生物蓄水过滤系统对雨水的滞留与过滤功效[J]. 环境工程学报,2015(5):2259-2264.
[7]陈虹利,李廷勇,周福莉,等. 基于场降雨数据的大气降水化学特征分析——以重庆市北碚区西南大学为例[J]. 西南大学学报(自然科学版),2012(2):105-113.
[8]杨丽娟. 重庆市耐旱园林植物的调查筛选及应用研究[D]. 重庆:西南大学,2009.
[9]薛彦斌. 三种藤本地被植物抗旱性及在边坡绿化中的应用研究[D]. 重庆:西南大学,2010.
[10]郭翀羽. 植草沟与缓冲带径流控制效能研究[D]. 北京:北京建筑大学,2013.
[11]高艳芝,宗俊勤,孟 璠,等. 不同暖季型草坪草种耐淹性能评价[J]. 草地学报,2014(5):1021-1030.
[12]刘可心. 水淹胁迫下 10 种草种耐水淹能力的研究[D]. 长沙:湖南农业大学,2009.
[13]Kramer P J, Boyer J S. Water relation of plants and soils[M]. San Diego:Academic Press,1995.
[14]余 莉. 几种地被植物的引种栽培及适应性研究[D]. 北京:北京林业大学,2005.
[15]张 科. 重庆市六种园林草本地被植物的耐旱性评价[D]. 重庆:西南大学,2010.