

DOI:10.11937/bfyy.201610021

北方地区雨水花园植物的筛选

刘晶晶¹, 郭慧超¹, 白伟岚², 高亦珂¹, 张启翔¹

(1. 北京林业大学 园林学院, 花卉种质创新与分子育种北京市重点实验室, 国家花卉工程技术研究中心, 北京 100083;

2. 中国城市建设研究院有限公司, 北京 100120)

摘要:以我国北方地区具有一定耐涝和抗旱能力的 20 种草本植物为试材, 采用环境胁迫试验, 研究了干旱、水淹、盐溶液、重金属溶液处理对花卉各项生长指标的影响。结果表明: 4 个不同处理组的花卉株高、冠幅、叶片数量、存活时间相对于对照组均出现极显著 ($P < 0.01$) 的抑制作用, 抑制程度的排序为干旱处理组 > 水淹处理组 > 盐溶液处理组 > 重金属处理组, 3 个生长指标对不同处理的敏感程度排序为株高 > 叶片数量 > 冠幅。多年生花卉和多年生做一年生栽培的花卉相对于一年生花卉对各种环境胁迫具有更强的耐受性。根据花卉在不同环境胁迫下的反应进行了综合评价和筛选, 蓝亚麻、婆婆那、花葱等多年生花卉在综合胁迫下受到的抑制最小, 最能适应雨水花园极端的环境条件。

关键词:北方地区; 雨水花园; 环境胁迫; 植物; 筛选

中图分类号:S 688 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2016)10-0082-06

雨水花园作为控制城市雨洪的措施之一, 不仅可以缓解城市内涝, 将过滤后的雨水储蓄起来加以利用或汇入水域保持自然水循环^[1-2]; 也可以美化城乡环境、调节小气候并增加生物的多样性, 在生态建设和景观建设上都发挥着极其重要的作用。雨水花园的生态效益极大地依赖于植物, 虽然国内的一些科研和设计单位已开始模仿国外的雨水花园的模式, 但针对雨水花园的研究主要集中在其规模、结构和降低径流量及径流污染上^[3-6], 而对植物的选择仅停留于对理论和经验的总结上^[7-9]。雨水花园和海绵城市构建的结构, 容易学习和模仿, 但不同地域条件下适应的植物有极大的不同, 不能直接采用国外已有的经验, 因此筛选适宜的植物在我国构建海绵城市和雨水花园显得更为重要和迫切。

我国北方地区夏季多雨, 雨季时, 雨水花园的蓄水层暂时滞留雨水, 但设计的渗透时间一般不大于 48 h, 而春秋季节降水量较少, 较为干旱, 因此北方地区雨水

花园的植物需要具有耐短期水淹、长期干旱的特性。此外, 雨水径流中的污染物浓度经过植被和土壤的吸收和降解而降低的同时, 对植物也会造成一定的影响。研究表明, 雨水中的污染物主要有: 悬浮物(SS)、有机污染物(COD)、氯(Cl)、总磷(TP)、溶解磷(PO_4-P)、总氮(TN)、铵态氮(NH_4^+)及重金属等^[10-11], 北京地区雨水径流中重金属种类主要为 Zn、Cu、Cd、Cr、Pb、Ni 等。因此, 雨水花园中植物最主要的选择原则是既耐长期干旱又耐短期水淹, 同时对盐和重金属等污染物有一定的耐受力。

对 20 种初筛可用于雨水花园中的植物分别进行干旱处理、水淹处理、盐溶液处理和重金属溶液处理, 并将此处理下的植株分别与对照组进行比较, 分析各处理组对植物各指标的影响, 筛选出适合北方地区雨水花园的植物, 以期对雨水花园等低影响开发设施在我国北方地区的建设及植物造景提供更多的参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验材料为北方地区常用的草本植物: 花菱草(*Eschscholtzia californica*)、飞燕草(*Consolida ajacis*)、虞美人(*Papaver rhoeas*)、大阿米芹(*Ammi majus*)、蓝蜀黍(*Echium vulgare*)、福寿花(*Adonis amurensis*)、蛇目菊(*Coreopsis tinctoria*)、高山勿忘我(*Myosotis sylvatica*)、满天星(*Gypsophila paniculata*)、粉萼鼠尾草(*Salvia farinacea*)、红亚麻(*Linum grandiflora*)、矢车

第一作者简介:刘晶晶(1990-), 女, 硕士研究生, 研究方向为园林植物应用及园林生态。E-mail:15510206365@163.com.

责任作者:高亦珂(1966-), 女, 博士, 教授, 研究方向为园林植物应用及花卉遗传育种。E-mail:gaoyk@bjfu.edu.cn.

基金项目:北京市教育委员会科学研究与研究生培养共建资助项目(BLCXY201531); “十二五”水体污染控制与治理科技重大专项资助项目(2010ZX07320-002); 国家林业局 948 资助项目(2013-4-46)。

收稿日期:2016-02-14

菊(*Centaurea cyanus*)、柳叶马鞭草(*Verbena bonariensis*)、红花鼠尾草(*Salvia coccinea*)、轮峰菊(*Scabiosa stellata*)、美丽月见草(*Oenothera speciosa*)、百里香(*Thymus mongolicus*)、婆婆纳(*Veronica spicata*)、蓝亚麻(*Linum perenne*)、花葱(*Allium schoenoprasum*),共计 20 种。其中柳叶马鞭草、红花鼠尾草、轮峰菊为北方地区多年生做一年生栽培的花卉,美丽月见草、百里香、婆婆纳、蓝亚麻、花葱为多年生花卉,其余为一年生花卉。种子由北京林大林业科技股份有限公司种业分公司提供。

1.2 试验方法

试验地点位于北京林业大学温室内。2014 年 2 月中旬将每种花卉的种子播于 72 孔穴苗盘中,正常养护管理,3 月上旬将穴盘苗移至 12 cm 口径的花盆中,待植株长至最少 8 对真叶(4 月初)时,每种花卉分别选择长势一致的 25 株,置于同样环境中进行如下处理,每个处理 5 株。对照处理:视基质干湿度,每 3~4 d 浇灌 1 次清水,每次浇水量为 50 mL·盆⁻¹;干旱处理:试验过程中不浇水;水淹处理:选取口径为 18 cm 的花盆,用 2 层塑料袋将其套住,将植物带盆放入其中,缓慢加水至淹没根颈部位,并在此后的试验中保证水位持续稳定在该位置;盐溶液处理:试验用水采用人工配制,因水质稳定便于控制且易获得,有文献证实,人工配水可代替实际雨水径流进行污染物降解及机理的研究^[12]。称取淀粉 15.75 g、磷酸氢钠 2.50 g、白砂糖 7.88 g、尿素 3.15 g、硫酸铵 7.50 g、蛋白胨 1.58 g、牛肉膏 1.26 g、碳酸氢钠 31.50 g、无水碳酸钠 50.50 g,溶于 1 L 蒸馏水中制成原水。依据北京城区道路雨水径流污染水平,按 1:200 的比例将原水稀释成高污染物浓度的城市降雨径流水水平^[13]。与对照组同频率、等量浇试验用水;重金属溶液处理:试验用水同样采用人工配置,4 种重金属质量浓度处理分别为 Cd(2 mg·L⁻¹,使用 CdCl₂ 配制)、Pb(20 mg·L⁻¹,使用 Pb(CH₃COO)₂ 配制)、Cu(10 mg·L⁻¹,使用 CuSO₄ 配制)、Zn(40 mg·L⁻¹,使用 ZnSO₄ 配制),

重金属处理质量浓度为水三级排放标准的 2~20 倍^[14]。与对照组同频率、等量浇试验用水。

1.3 项目测定

试验开始后每天观察记录每种植物每个处理组的生长情况,每周对其株高、冠幅、叶片数进行测量并记录,同时记录每个处理组的植株存活天数,试验共持续 2 个月。试验结束后将对照组、盐处理和重金属处理试验组的植物地上部分剪下进行烘干,称量干重(因干旱处理组和水淹处理组植株死亡时间较早,未对其进行生物量测量)。计算各指标促进或抑制率:各指标促进或抑制率(%)=(处理组指标-对照组指标)/对照组指标×100。其中各指标包括株高、冠幅、叶片数、存活时间、生物量。得到的数值为正表示促进率,数值为负表示抑制率。

1.4 数据分析

数据经反正弦转换后利用 SPSS 21.0 软件进行多因素方差分析,多重比较采用 Duncan 式新复极差法。

2 结果与分析

2.1 不同处理对花卉生长指标的影响

由表 1 可知,不同处理组的花卉株高促进或抑制率在前 2 周没有显著差异,在第 3 周差异显著,第 4 周后差异极显著。在前 3 周,干旱处理组和水淹处理组较对照组的花卉株高出现轻微的抑制作用。自第 4 周起,干旱处理组的花卉株高抑制率与对照组的差异极显著,第 7 周抑制率达到 100%,即第 7 周干旱处理组的花卉均死亡。水淹处理组的花卉株高抑制率于第 4 周与对照组达到差异显著水平,第 5 周达到差异极显著水平,且与干旱处理组相比差异极显著,干旱对花卉株高的抑制极显著高于水淹对株高的抑制。在前 4 周,盐溶液处理组和重金属溶液处理组的花卉株高相对于对照组出现轻微的促进作用,第 5 周起相对于对照组出现抑制作用,但抑制作用不显著,至第 8 周出现极显著的抑制作用。

表 1 试验花卉不同处理下株高促进或抑制率差异显著性分析及多重比较分析

Table 1 Significance analysis and multiple comparison results of promotion or inhibition rate of tested flower height under different treatments

周次 Week	干旱处理组 Drought treatment group	水淹处理组 Flooding treatment group	盐溶液处理组 Salt solution treatment group	重金属溶液处理组 Heavy metal solution treatment group	对照组 Control group	P
1	-0.68±0.02Aa	-0.42±0.04Aa	2.95±0.03Aa	0.27±0.01Aa	0.00Aa	0.732
2	-5.33±1.02Aa	-3.93±0.89Aa	0.44±0.02Aa	0.43±0.05Aa	0.00Aa	0.389
3	-9.74±1.29Aa	-4.58±0.92Aab	0.66±0.06Ab	0.40±0.02Ab	0.00Ab	0.028*
4	-21.21±2.32Aa	-16.64±2.02ABa	4.27±0.89Cb	0.31±0.02BCb	0.00BCb	0.000**
5	-74.45±2.35Aa	-37.24±1.09Bb	-4.12±0.02Cc	-2.14±0.02Cc	0.00Cc	0.000**
6	-95.08±1.09Aa	-51.81±2.09Bb	-2.32±0.09Cc	-0.63±0.03Cc	0.00Cc	0.000**
7	-100.00Aa	-57.38±1.09Bb	-5.89±1.01Cc	-0.31±0.01Cc	0.00Cc	0.000**
8	-100.00Aa	-66.56±3.04Bb	-10.98±0.98Cc	-12.51±1.22Cc	0.00Dd	0.000**
9	-100.00Aa	-72.02±2.19Bb	-25.14±1.09Cc	-14.47±1.09Cc	0.00Dd	0.000**

注:同列不同小写字母表示差异显著(P<0.05),不同大写字母表示差异极显著(P<0.01),*表示差异显著,**表示差异极显著。下同。

Note: Different lowercase letters in the same column show significant difference at 0.05 level; different capital letters show highly significant difference at 0.01 level, * shows significant difference, ** shows highly significant difference. The same below.

从表 2 可以看出,不同处理组的花卉冠幅促进或抑制率在前 3 周没有显著差异,自第 4 周起差异极显著。在前 2 周,干旱处理组较对照组的花卉冠幅有轻微的促进作用,第 3 周出现抑制作用,第 4 周起出现极显著的抑制作用,至第 7 周抑制作用达到最大,即 100%。水淹组的花卉冠幅较对照组在前 3 周无显著的促进作用,第 4 周出现抑制作用,第 5 周抑制作用与对照组达到差异显著水平,第 6 周达到差异极显著水平。干旱处理组与水

淹处理组自第 5 周起差异极显著,即干旱对花卉冠幅的抑制极显著高于水淹对冠幅的抑制,且干旱对花卉冠幅的抑制较水淹更为提前。在前 7 周,盐溶液处理组和重金属溶液处理组的花卉冠幅相对于对照组均表现为促进作用,且这种促进作用逐渐增大,第 5 周增至最大,与对照组相比达到极显著差异,从第 6 周起促进作用逐渐降低,至第 8 周转为较对照组极显著的抑制作用。

表 2 试验花卉不同处理下冠幅促进或抑制率差异显著性分析及多重比较分析

Table 2 Significance analysis and multiple comparison results of promotion or inhibition rate of tested flower crown under different treatments

周次 Weeks	干旱处理组 Drought treatment group	水淹处理组 Flooding treatment group	盐溶液处理组 Salt solution treatment group	重金属溶液处理组 Heavy metal solution treatment group	对照组 Control group	P
1	7.43±0.23Aa	9.49±1.02Aa	2.42±0.67Aa	4.81±0.35Aa	0.00Aa	0.305
2	1.58±0.03Aa	3.41±0.26Aa	8.27±1.03Aa	4.68±0.26Aa	0.00Aa	0.587
3	-4.43±0.43Aa	0.97±0.03Aa	11.77±1.24Aa	5.34±0.32Aa	0.00Aa	0.138
4	-22.89±1.23Aa	-11.42±0.96ABab	13.84±1.12Dd	9.17±0.87BCc	0.00BCbc	0.000**
5	-58.86±3.44Aa	-18.67±2.13Bb	14.86±1.21Cd	20.28±2.39Cd	0.00Bbc	0.000**
6	-97.76±3.67Aa	-51.02±2.34Bb	6.17±0.21Cc	5.64±0.98Cc	0.00Cc	0.000**
7	-100.00Aa	-55.00±2.89Bb	5.34±1.02Cc	3.02±0.54Cc	0.00Cc	0.000**
8	-100.00Aa	-70.44±3.02Bb	-14.08±1.76Cc	-13.82±1.98Cc	0.00Dd	0.000**
9	-100.00Aa	-77.71±2.78Bb	-23.60±2.09Cc	-16.66±2.79Cc	0.00Dd	0.000**

由表 3 可知,不同处理组的花卉叶片数量在第 1 周即出现显著差异,第 2 周起差异极显著。在前 2 周,干旱处理组较对照组的花卉叶片数量有轻微的促进作用,第 3 周出现抑制作用,第 4 周起出现极显著的抑制作用,至第 7 周抑制作用达到最大,即 100%。水淹处理组的花卉叶片数量较对照组在前 3 周无显著的促进作用,第 4 周出现显著的抑制作用,第 5 周抑出现极显著的抑制作用。干旱处理组与水淹处理组自第 5 周起差异极显著,即干旱对花卉冠幅的抑制极显著高于水淹对冠幅的抑

制,且干旱对花卉叶片数量的抑制较水淹更为提前。在前 6 周,盐溶液处理组和重金属溶液处理组的花卉叶片数量相对于对照组均表现为促进作用,这种促进作用先增大后减小,盐溶液处理组花卉叶片数量促进率的峰值出现在第 4 周,但与对照组无显著差异,重金属溶液处理组花卉叶片数量促进率的峰值出现在第 3 周,且第 2 周起即与对照组有极显著差异。第 8 周盐溶液处理组和重金属溶液处理组的花卉叶片数量相对于对照组均表现转为抑制作用,至第 9 周与对照组差异极显著。

表 3 试验花卉不同处理下叶片数量促进或抑制率差异显著性分析及多重比较分析

Table 3 Significance analysis and multiple comparison results of promotion or inhibition rate of tested flower leaf number under different treatments

周次 Weeks	干旱处理组 Drought treatment group	水淹处理组 Flooding treatment group	盐溶液处理组 Salt solution treatment group	重金属溶液处理组 Heavy metal solution treatment group	对照组 Control group	P
1	3.45±0.32ABab	6.06±0.78ABb	3.70±0.67ABab	8.70±1.02Bb	0.00Aa	0.026*
2	3.85±0.21ABa	6.12±1.03ABab	5.24±0.99BAa	11.29±2.19Bb	0.00Aa	0.006**
3	-0.95±0.05Aa	0.05±0.01Aa	7.43±1.19ABab	13.34±2.32Bb	0.00Aa	0.002**
4	-22.25±0.04Aa	-16.88±0.99ABa	9.82±1.23Cb	5.99±1.03Cb	0.00CBb	0.000**
5	-68.72±3.14Aa	-41.19±2.13Bb	3.92±0.12Cc	0.60±0.04Cc	0.00Cc	0.000**
6	-98.14±2.13Aa	-56.02±2.56Bb	2.47±0.23Cc	3.75±1.01Cc	0.00Cc	0.000**
7	-100.00Aa	-65.02±2.89Bb	-8.47±2.01Cc	-0.60±0.02Cc	0.00Cc	0.000**
8	-100.00Aa	-75.27±3.24Bb	-14.70±1.13Cc	-11.30±1.20Cc	0.00Dd	0.000**
9	-100.00Aa	-77.29±2.22Bb	-15.25±2.03Cc	-12.19±1.01Cc	0.00Dd	0.000**

综上,4 个不同处理组的花卉株高、冠幅、叶片数量相对于对照组均出现极显著的抑制作用。这种抑制作用的顺序从前到后为干旱处理组>水淹处理组>盐溶液处理组>重金属处理组,抑制程度排序为干旱处理组>水淹处理组>盐溶液处理组>重金属处理组,抑制出现的顺序与抑制程度呈现正相关关系。干旱处理组

相对于对照组的抑制率较其它处理组达到极显著差异,即干旱胁迫对植物的抑制作用最为显著;其次为水淹处理组,较盐溶液处理组、重金属溶液处理组合对照组有极显著差异;盐溶液处理组和重金属溶液处理组相对于对照组在前 4~7 周出现不同程度的促进作用,至第 5~8 周出现极显著的抑制作用。

3 个生长指标对不同处理的敏感程度排序为株高>叶片数量>冠幅。在不同的处理组下,相对于对照组,在处理前期花卉的叶片数量和冠幅会呈现一定的促进作用,到处理后中期转为抑制作用,而株高则在某些处理组下在处理初期即出现抑制作用。干旱处理组和水淹处理组花卉的株高相对于对照组第 1 周即出现轻微的抑制作用,且抑制作用至第 3 周达到差异显著水平,第 4 周达到差异极显著水平;盐溶液处理组和重金属溶液处理组的株高相对于对照组在第 5 周出现抑制作用,在第 8 周达到差异极显著水平。干旱处理组和水淹处理组花卉的叶片数量相对于对照组第 3 周出现抑制作用,第 5 周达到差异极显著水平;盐溶液处理组和重金属溶液处理组的叶片数量相对于对照组在第 7 周出现抑制作用,在第 8 周达到差异极显著水平。干旱处

理组和水淹处理组花卉的冠幅相对于对照组第 3 周出现抑制作用,第 5 周达到差异极显著水平;盐溶液处理组和重金属溶液处理组的冠幅相对于对照组在第 8 周出现抑制作用,在第 9 周达到差异极显著水平。

2.2 不同处理对生物量的影响

由表 4 可知,盐溶液处理组和重金属溶液处理组花卉的生物量相对于对照组都表现为抑制作用,其中盐溶液处理组的抑制作用更为显著,但与对照组相比均无显著差异。由图 1 可知,从花卉种类上看,在 2 种处理下相对于对照组的生物量,一年生花卉表现出抑制作用,而多年生做一年生栽培的花卉和多年生花卉表现出促进作用,即多年生做一年生栽培的花卉和多年生花卉在盐和重金属的胁迫下,比一年生花卉的耐受性更好。

表 4 试验花卉在不同处理下生物量促进或抑制率差异显著性分析

Table 4 Significance analysis of promotion or inhibition rate of tested flower biomass under different treatments				
处理组 Treatment group	盐溶液处理组 Salt solution treatment group	重金属溶液处理组 Heavy metal solution treatment group	对照组 Control group	P
促进或抑制率 Promotion or inhibition rate/%	-6.32±0.51	-3.84±0.389	0.00	0.413

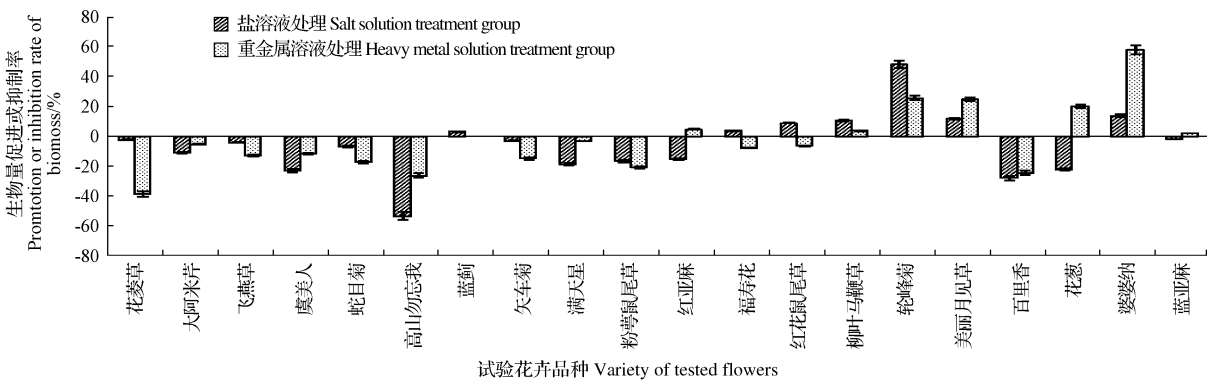


图 1 试验花卉生物量促进或抑制率

Fig.1 Promotion or inhibition rate of tested flower biomass

2.3 不同处理对存活时间的影响

由表 5 可知,不同处理组花卉的存活时间较对照组均呈现显著或极显著的抑制,抑制程度从大到小为干旱处理组>水淹处理组>盐溶液处理组>重金属溶液处理组。其中,干旱处理组的抑制作用最为显著,平均抑制率为 55.21%,其次为水淹处理组,为 36.72%,2 个处理组花卉的存活时间较对照组有极显著差异,且干旱处理组和水淹处理组的差异极显著;盐溶液处理组

和重金属溶液处理组花卉的存活时间较对照组有显著性差异。

由图 2 可知,从花卉种类上看,一年生花卉各处理组下的存活时间短于多年生做一年生栽培花卉和多年生花卉,即相对于一年生花卉,多年生做一年生栽培花卉和多年生花卉对各种环境胁迫的耐受力更强,尤其是在盐和重金属环境胁迫下,表现出明显更强的耐受力,与对照组的存活时间相同。

表 5 试验花卉不同处理下存活时间促进或抑制率差异显著性分析及多重比较分析

Table 5 Significance analysis and multiple comparison results of promotion or inhibition rate of tested flower survival time under different treatments						
处理组 Treatment group	干旱处理组 Drought treatment group	水淹处理组 Flooding treatment group	盐溶液处理组 Salt solution treatment group	重金属溶液处理组 Heavy metal solution treatment group	对照组 Control group	P
促进或抑制率 Promotion or inhibition rate/%	-55.21±1.42Aa	-36.72±1.22Bb	-9.89±0.54Cc	-5.43±0.89Cc	0.00Cd	0.000*

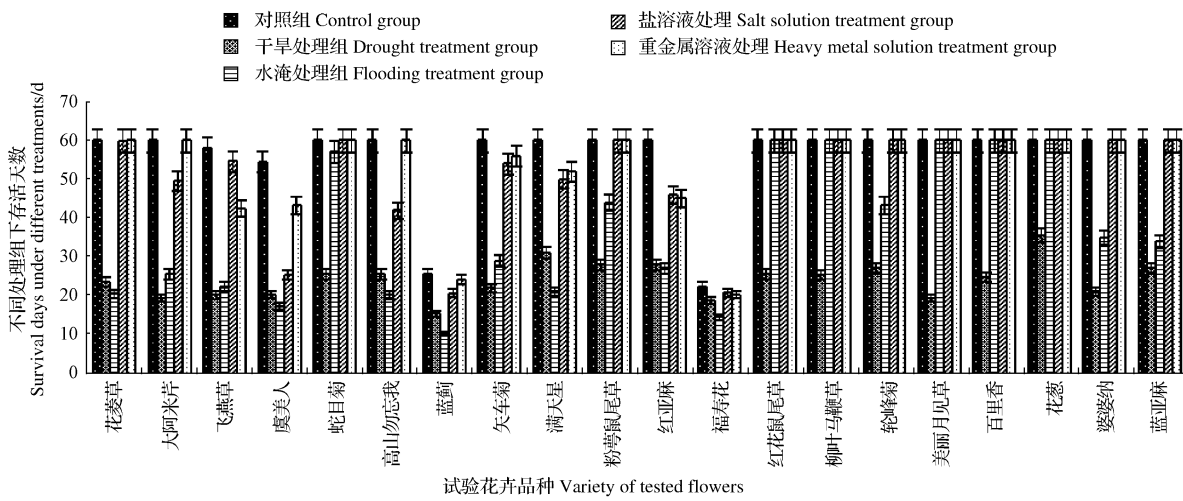


图 2 试验花卉存活天数促进或抑制率

Fig. 2 Promotion or inhibition rate of tested flower biomass survival days

2.4 参试植物耐受性总体评价

试验花卉对干旱和水淹的环境胁迫最敏感,且干旱条件下更为敏感,盐和重金属对植物的影响较小,前期还有不同程度的促进作用。因此,根据结果对每个处理组进行权重赋值:干旱处理 0.4,水淹处理 0.3,盐处理 0.15,重金属处 0.15,将该项权重值记为 W_1 ;根据不同指标对各种环境胁迫不同敏感程度及重要性进行权重赋值:存活天数 0.4,生长指标 0.45(株高 0.15、冠幅 0.15、叶片数量 0.15),生物量 0.15,将该项权重值即为 W_2 。将各项指标在不同环境胁迫下的促进或抑制率设为 A ,则试验花卉在不同处理下促进或抑制率的综合得分 X 的计算公式如下: $X = \sum W_2 (\sum W_1 A)$ 。

由表 6 可知,试验花卉在不同处理组的环境胁迫下,总体均表现为抑制作用,抑制作用越小则越满足雨水花园的选择标准。综合抑制率小于 20%的花卉共计 13 种,这类花卉较适合在雨水花园中生长,包括所有的多年生花卉、多年生做一年生栽培的花卉和 5 种一年生花卉,且这 5 种一年生花卉均为生长周期和花期较长的种类;而综合抑制率大于 20%的花卉则不适合在雨水花园中生长,这类花卉均为生长周期和花期都较短的一年生花卉。因此,多年生花卉受环境胁迫的抑制率最小,最适合在雨水花园中生长。因多年生花卉相对于一年生花卉具有更发达的根系,更繁茂的枝叶和更多的营养积累,故多年生花卉对各种环境胁迫具有更强的耐受

表 6 试验花卉对各种环境胁迫的抑制率总排序

种类	天数	株高	冠幅	叶片数	生物量	总分
Species	Days	Height	Crown	Leaf number	Biomass	Score
蓝亚麻 <i>Linum pereme</i>	-35.00	20.91	18.73	-7.47	0.00	-9.17
婆婆纳 <i>Veronica spicata</i>	-38.50	1.12	24.05	4.14	10.81	-9.38
红花鼠尾草 <i>Salvia coccinea</i>	-22.93	1.61	5.08	-16.07	0.41	-10.52
花葱 <i>Allium schoenoprasum</i>	-16.33	-15.45	2.61	-30.71	-0.28	-13.11
粉萼鼠尾草 <i>Salvia farinacea</i>	-29.33	-23.27	17.79	-1.91	-5.63	-13.69
红亚麻 <i>Linum grandiflora</i>	-45.08	-14.79	1.14	42.89	-1.54	-13.88
蛇目菊 <i>Coreopsis tinctoria</i>	-24.50	0.25	-19.75	-4.25	-3.60	-13.90
花菱草 <i>Eschscholtzia californica</i>	-44.13	14.68	43.75	-27.97	-6.15	-14.01
轮峰菊 <i>Scabiosa stellata</i>	-30.40	-30.81	11.95	-5.71	11.22	-14.16
美丽月见草 <i>Oenothera speciosa</i>	-27.13	4.66	-42.53	6.04	5.55	-14.80
百里香 <i>Thymus mongolicus</i>	-23.53	-24.52	-2.06	-3.47	-7.88	-15.10
柳叶马鞭草 <i>Verbena bonariensis</i>	-23.13	-16.18	-27.91	2.31	-5.21	-16.30
满天星 <i>Gypsophila paniculata</i>	-43.33	9.35	8.66	-10.71	-3.28	-16.73
矢车菊 <i>Centaurea cyanus</i>	-43.33	-16.55	-1.64	2.58	-2.67	-20.08
高山勿忘我 <i>Myosotis sylvatica</i>	-47.45	-12.19	-36.28	-2.83	-12.00	-28.48
大阿米芹 <i>Ammi majus</i>	-46.94	-16.61	-31.82	-40.24	-2.49	-32.45
飞燕草 <i>Consolida ajacis</i>	-49.37	-20.59	-50.13	-20.96	-2.51	-33.87
虞美人 <i>Papaver rhoeas</i>	-56.78	-1.80	-44.09	-27.92	-5.20	-34.56
蓝蓟 <i>Echium vulgare</i>	-37.37	-63.21	-62.97	-64.19	0.49	-43.43
福寿花 <i>Adonis amurensis</i>	-19.62	-83.93	-84.48	-83.93	-0.58	-45.79

性,尤其是对盐和重金属胁迫多年生花卉表现出极强的耐受性。然而,盐和重金属胁迫对植物的影响是一个长期积累的过程,因该试验在2个月内完成,一年生花卉因生长周期较短,在2个月内即对盐和重金属胁迫表现出抑制作用,而多年生花卉可能在2个月时间植物体内的盐和重金属的积累尚未达到能威胁到其生存的累积量,仅在最后2周株高、冠幅等生长指标表现出抑制作用,而存活天数与对照组相差较小。因此,对于多年生花卉对盐和重金属的胁迫试验结果有待进一步分析,如延长试验周期、植物体内盐及重金属含量检测等,以期发现其对盐及重金属胁迫而表现出抑制作用的临界时间和临界累积量,以便更为精确地对多年生花卉对盐及重金属胁迫的表现进行分析和评价。

3 结论

北方地区进行雨水花园植物选择时,应依据以下原则:

优先选择多年生花卉和多年生做一年生栽培的花卉,适当增加一年生花卉。多年生花卉和多年生做一年生栽培的花卉根系发达,耐受力及吸收及降解污染物的能力强,更能适应雨水花园中极端的环境条件,同时也具有较长的观赏期和绿期,能长期维持雨水花园景观效果。而一年生花卉根系较浅且多为直根系,对环境胁迫的耐受力差,且生长周期和花期短,死亡后影响景观效果,需及时清理,增加人工成本。但多年生花卉对的营养生长期较长,达到预期景观效果的时间偏长,而一年生花卉能快速形成景观,可弥补多年生花卉的不足,因此,适当增加观赏期较长的一年生花卉也是必要的。

选择耐长期干旱和短期水淹的植物,且侧重对抗旱性的选择,其次是对耐涝性的选择。植物在对水的环境

胁迫最为敏感,且对于干旱胁迫比对水淹胁迫更为敏感。而我国北方地区降雨分配不均,春秋季节干旱,在不进行人工灌溉的基础上雨水花园中的植物长期处于干旱的状态;夏季雨水集中,但在降雨后雨水花园中的积水在设计渗透系数下最多在48 h内渗透,雨水花园中植物最多处于48 h的水淹状态。因此,北方地区进行雨水花园植物选择时应首先侧重植物的耐旱能力,其次是耐涝能力。

参考文献

- [1] 王建龙,车伍,易红星.基于低影响开发的都市雨洪控制与利用方法[J].中国给水排水,2009,25(14):6-9,16.
- [2] 张钢.雨水花园设计研究[D].北京:北京林业大学,2010:20.
- [3] 罗红梅,车伍,李俊奇,等.雨水花园在雨洪控制与利用中的应用[J].中国给水排水,2008,24(6):48-52.
- [4] 唐双成,罗纨,贾忠华,等.雨水花园对暴雨径流的削减效果[J].水科学进展,2015(6):1-10.
- [5] 王文亮,李俊奇,车伍,等.城市低影响开发雨水控制利用系统设计方法研究[J].中国给水排水,2014,30(24):12-17.
- [6] 刘文,陈卫平,彭驰.城市雨洪管理低影响开发技术研究与利用进展[J].应用生态学报,2015,26(6):1901-1912.
- [7] 王佳妮.雨水花园植物的选择与设计[J].北方园艺,2012(19):77-81.
- [8] 刘佳妮.雨水花园的植物选择[J].北方园艺,2010(17):129-132.
- [9] 王佳,王思思,车伍.低影响开发与绿色雨水基础设施的植物选择与设计[J].中国给水排水,2012,28(21):45-50.
- [10] 王书吉,姚兰,孙红.城市道路雨水污染物浓度随产流过程变化规律研究[J].水科学与工程,2006(5):13-15.
- [11] 张福锁,申建波,陈新平,等.植物营养研究进展[C].中国国际农业科技年会,1990.
- [12] 杨清海,吕淑华,李秀艳,等.城市绿地对雨水径流污染物的削减作用[J].华东师范大学学报(自然科学版),2008(2):41-47.
- [13] 杨桐,尤学一,季民.城市绿地对雨水径流污染物的削减作用[J].土木建筑与环境工程,2012(S1):1-6.
- [14] 王忠全,温琰茂,黄兆霆,等.几种植物处理含重金属废水的适应性研究[J].生态环境,2005,14(4):540-544.

Selection of Plants for Rain Garden in Northern China

LIU Jingjing¹, GUO Huichao¹, BAI Weilan², GAO Yike¹, ZHANG Qixiang¹

(1. College of Landscape Architecture, Beijing Forestry University/Beijing Key Laboratory of Ornamental Plants Germplasm Innovation and Molecular Breeding/National Engineering Research Center for Floriculture, Beijing 100083; 2. China Urban Construction Design and Research Institute Co. Ltd., Beijing 100120)

Abstract: Taking 20 kinds of herbaceous plants with drought and flood resistance in northern China as test materials, environmental stresses experiments under drought, flood, salt solution, heavy metal solution were carried on to study the effect of them on test plants. The results showed that in four different treatment groups, plant height, crown, leaf number and survival time presented significantly ($P < 0.01$) inhibitory effect compared with control group, the inhibition degree sorting was drought treatment group > flood treatment group > salt solution treatment group > heavy metal treatment group, the order of sensitive degree to different treatments of 3 growth indexes was plant height > leaf number > crown, and annuals as perennial cultivated had stronger resistance to various environmental stresses. Comprehensive evaluation and selection according to the response to different environmental stresses had been carried on, perennials such as *Linum perenne*, *Veronica spicata*, and *Allium schoenoprasum* had been restrained most weakly under the comprehensive stress, and they were the most suitable for the extreme environmental conditions in rain garden.

Keywords: northern region; rain garden; environmental stresses; plant; selection