

干旱胁迫对 24 种宿根花卉生长的影响

董晓晓^{1,2,3,4}, 刘 雪^{1,2,3,4}, 蒋亚蓉^{1,2,3,4}, 袁 涛^{1,2,3,4*}

(1. 花卉种质创新与分子育种北京市重点实验室, 北京 100083; 2. 国家花卉工程技术研究中心, 北京 100083;
3. 城乡生态环境北京实验室, 北京 100083; 4. 北京林业大学 园林学院, 北京 100083)

摘 要:为探究干旱胁迫对不同宿根花卉生长的影响,通过盆栽控水方法测定 24 种宿根花卉在干旱胁迫下的株高、冠幅、根长及根冠比等生长指标,并根据各指标的旱水比值结合隶属函数法对其抗旱性进行初步排序。结果表明,干旱胁迫下所有试验材料的株高和冠幅均减小,根冠比和根长先增加后下降,抗旱性由强到弱依次为:马蔺>早麦瓶草>菊叶委陵菜>‘金娃娃’萱草>二裂委陵菜>山麦冬>溪荪>叉分蓼>白屈菜>地被石竹>蓬子菜>蹄叶橐吾>蓝花棘豆>麻花头>展枝唐松草>华北蓝盆花>紫花耬斗菜>龙牙草>黄芩>草地风毛菊>地榆>路边青>‘小兔子’狼尾草>独活。

关键词:干旱胁迫;宿根花卉;抗旱性

中图分类号:S682.1 文献标志码:A 文章编号:1001-7461(2019)03-0125-07

Effect of Drought Stress on the Growth of Twenty Four Perennials

DONG Xiao-xiao^{1,2,3,4}, LIU Xue^{1,2,3,4}, JIANG Ya-rong^{1,2,3,4}, YUAN Tao^{1,2,3,4*}

(1. Beijing Key Laboratory of Ornamental Plants Germplasm Innovation and Molecular Breeding, Beijing 100083, China;
2. National Engineering Research Center for Floriculture, Beijing 100083, China; 3. Beijing Laboratory of Urban and Rural Ecological Environment, Beijing 100083, China; 4. School of Landscape Architecture, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: In order to explore the effects of drought stress on the growth of different perennials, 24 perennial flower species under drought stress were measured by pot water control method, including plant height, crown width, root length and root-shoot ratio. The abilities of drought resistance of 24 perennials were evaluated preliminarily according to the drought-water ratio of each index and the membership function method. Under drought stress, plant height and crown width of all tested materials decreased, root-shoot ratio and root length increased first and then decreased. The order of drought resistance of 24 perennial flower species was as follows: *Iris lactea* var. *chinensis* > *Silene jennisseensis* > *Potentilla tanacetifolia* > *Hemerocallis fulva* ‘Golden Doll’ > *Potentilla bifurca* > *Liriope spicata* > *Iris sanguinea* > *Polygonum divaricatum* > *Chelidonium majus* > *Dianthus plumarius* > *Galium verum* > *Ligularia fischeri* > *Oxytropis coerulea* > *Serratula centauroides* > *Thalictrum squarrosus* > *Scabiosa tschiliensis* > *Aquilegia viridiflora* f. *atropurpurea* > *Agrimonia pilosa* > *Scutellaria baicalensis* > *Saussurea amara* > *Sanguisorba officinalis* > *Geum aleppicum* > *Pennisetum alopecuroides* ‘Little Bunny’ > *Heracleum hemsleyanum*.

Key words: drought stress; perennial; growth

宿根花卉是指个体寿命超过 2 a, 多次开花结果, 地下根系正常的草本花卉。宿根花卉一次种植可多年利用, 且绿化效果显著, 大多数宿根花卉具有较强的适应性和抗性, 对发展节约型城市绿化意义

收稿日期: 2018-08-22 修回日期: 2018-12-10

基金项目: 2018 年中央高校建设世界一流大学(学科)和特色发展引导专项资金项目——风景园林学(000—111801001); 北京市科技计划项目“北京市节水型宿根地被植物速繁及建植技术研究与示范”(Z151100001015015)。

作者简介: 董晓晓, 女, 在读硕士, 研究方向: 园林植物资源与育种。E-mail: 2472271463@qq.com

* 通信作者: 袁 涛, 女, 教授, 博士生导师, 研究方向: 园林植物栽培与应用。E-mail: yuantao@bjfu.edu.cn

深刻。干旱胁迫会抑制植株生长,因此可将干旱胁迫下植物生长量的变化作为较直观的抗旱性评价指标^[1-2],本研究测定了 24 种宿根花卉在干旱胁迫下的株高、冠幅、根冠比、根长等生长指标,以期了解干旱胁迫下不同宿根花卉生长的差异,为宿根花卉的抗旱性研究提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料见表 1,编号 1~16 引自内蒙古赤峰市桦木沟林场及巴林右旗北部林区;编号 17~20 在北京地区广泛应用,其中马蔺为强抗旱宿根花卉,‘金娃娃’萱草为中抗旱^[3];编号 21~24 在北京地区已有栽培但尚待推广。‘金娃娃’萱草、‘小兔子’狼尾草是分株苗,黄芩是扦插苗,其余 21 种是播种苗,苗龄均为 10—12 月。

1.2 试验方法

盆栽称重控水试验:2017 年 4 月中旬选择生长健壮、整齐一致的植株移到塑料花盆中(13.0 cm×11.6 cm),每盆 1 株,正常管理。2017 年 7—9 月选择生长健壮、整齐一致的植株于北林科技温室(北京海淀区林大北路 13 号院内)进行盆栽控水试验,试验前 3 d 对所有植物材料充分浇水,用烘干法测得盆土的最大田间持水量为 32.70%±1.17%。待土壤含水率下降到极重度干旱范围内,采用称重补水法,使其达到设计的土壤水分梯度。土壤水分梯度的设置参考陈文荣^[4]等、王斌^[5]等和王琪^[6]的方法。5 个水分梯度分别为:对照(CK)SRWC(土壤含水量占田间持水量的百分数)85%;轻度胁迫(LS light stress)SRWC65%;中度胁迫(MS moderate stress)SRWC45%;重度胁迫(SS severe stress)SRWC25%;极重度胁迫(ESS extremely severe stress)SRWC10%。每 10 d 进行 1 次植株生长指标测定,24 种试验材料每种每次处理 15 盆(15 个重复),每次各处理随机选取 3 盆测定株高、冠幅,直至极重度干旱胁迫下的植株出现整株枯死现象时,随机取 3 盆整株掘出,测定根长、根冠比。

1.3 测定指标

用卷尺测量株高和冠幅,从土面量至叶尖或花序顶部表示株高(cm),取植株南北和东西方向宽度的平均值表示冠幅(cm)。根系的测定参考张素瑜^[7]等方法。

$$\begin{aligned} \text{根冠比} &= \text{地下部分干重} / \text{地上部分干重} \quad (1) \\ \text{旱水比值} &= \text{极重度干旱胁迫下指标测定值} / \text{对照组指标测定值} \quad (2) \end{aligned}$$

1.4 数据处理

参照厉广辉^[8]的方法计算各指标的旱水比值。使用 Microsoft Excel 2007 录入数据及绘制图表,用 SPSS20.0 进行统计学分析,采用单因素方差分析以及 Duncan 多重比较分析法对各个指标进行差异分析,以隶属函数法进行抗旱性综合评价。

2 结果与分析

2.1 干旱胁迫对宿根花卉生长的影响

由表 1 可知,随着干旱胁迫的加重,24 种试验材料的株高和冠幅均减小,根冠比和根长先增加后下降,但不同干旱胁迫下的根冠比和根长均>对照。菊叶委陵菜、二裂委陵菜、旱麦瓶草、溪荪、白屈菜、叉分蓼、麻花头、蹄叶橐吾、‘金娃娃’萱草、山麦冬、马蔺、蓬子菜和地被石竹在轻度干旱下的株高和冠幅与对照无显著差异;地榆、路边青、草地风毛菊、华北蓝盆花、黄芩、蓝花棘豆、‘小兔子’狼尾草、紫花耬斗菜、独活和龙芽草在轻度干旱下的株高和冠幅均显著<对照。地榆、路边青、麻花头、草地风毛菊、华北蓝盆花、蓝花棘豆、‘小兔子’狼尾草、黄芩、独活和龙牙草的根长在中度干旱下开始下降;菊叶委陵菜、二裂委陵菜、展枝唐松草、溪荪、叉分蓼、蹄叶橐吾和紫花耬斗菜的根长在重度干旱下开始下降;旱麦瓶草、白屈菜、‘金娃娃’萱草、山麦冬、蓬子菜、马蔺和地被石竹的根长在极重度干旱下开始下降。地榆、展枝唐松草和蓝花棘豆的根冠比在中度干旱下开始下降;叉分蓼、旱麦瓶草、白屈菜、麻花头、蹄叶橐吾、草地风毛菊、华北蓝盆花、紫花耬斗菜、独活、龙芽草、路边青、‘小兔子’狼尾草和黄芩的根冠比在重度干旱下开始下降;菊叶委陵菜、二裂委陵菜、‘金娃娃’萱草、山麦冬、马蔺、蓬子菜、溪荪和地被石竹的根冠比在极重度干旱下开始下降。

2.2 抗旱性综合评价

植物的抗旱性是复杂多样的,因此仅以单一指标对植物抗旱性进行评价缺乏一定的科学性^[9],本研究依据试验材料 4 个生长指标的旱水比值(表 2),计算各指标的隶属函数值(表 3),24 种试验材料的抗旱性由强到弱初步排序如下:马蔺>旱麦瓶草>菊叶委陵菜>‘金娃娃’萱草>二裂委陵菜>山麦冬>溪荪>叉分蓼>白屈菜>地被石竹>蓬子菜>蹄叶橐吾>蓝花棘豆>麻花头>展枝唐松草>华北蓝盆花>紫花耬斗菜>龙牙草>黄芩>草地风毛菊>地榆>路边青>‘小兔子’狼尾草>独活。

3 结论与讨论

干旱胁迫会抑制植物的生长,田萌^[10]等研究发

表 1 干旱胁迫对 24 种试验材料生长的影响

Table 1 Effect of drought stress on the growth of twenty four test materials

编号	种/品种	处理	株高/cm	冠幅/cm	根长/cm	根冠比
1	菊叶委陵菜(<i>Potentilla tanacetifolia</i>)	CK	7.23±0.25a	22.93±0.85a	14.20±0.07d	0.29±0.00e
		LS	7.19±0.44a	22.87±0.35a	20.50±0.95c	0.43±0.00d
		MS	6.37±1.95b	19.07±0.15b	28.43±0.60b	0.66±0.00b
		SS	5.43±0.30c	17.67±0.15c	34.40±0.66a	0.69±0.00a
		ESS	4.93±0.40c	16.70±0.27d	29.37±0.32b	0.61±0.00c
2	二裂委陵菜(<i>Potentilla bifurca</i>)	CK	8.17±0.45a	22.60±0.56a	11.50±0.50e	0.41±0.01e
		LS	8.13±0.15a	22.43±0.55a	16.70±0.72d	0.89±0.00c
		MS	7.20±0.20b	20.13±0.47b	21.63±0.32c	0.94±0.01b
		SS	6.43±0.25c	18.40±0.40c	26.57±0.60a	1.23±0.01a
		ESS	5.17±0.46d	16.50±0.46d	24.03±0.90b	0.84±0.01d
3	地榆(<i>Sanguisorba officinalis</i>)	CK	34.00±1.40a	40.63±0.71a	7.50±0.30e	0.39±0.00e
		LS	30.00±2.00b	34.40±0.79b	19.50±0.30a	1.13±0.00a
		MS	24.33±1.53c	28.80±0.44c	15.13±0.40b	0.75±0.01b
		SS	18.23±0.75d	18.73±0.25d	12.17±0.61c	0.56±0.00c
		ESS	9.90±0.29e	13.57±0.60e	9.47±0.31d	0.41±0.01d
4	龙牙草(<i>Agrimonia pilosa</i>)	CK	17.23±1.12a	22.77±0.25a	7.67±0.21e	1.03±0.01e
		LS	14.53±1.22b	14.77±0.25b	15.63±0.32a	2.21±0.00d
		MS	12.90±0.66c	11.93±0.12c	12.30±0.27b	3.86±0.01a
		SS	11.83±0.15c	9.80±0.30d	11.47±0.25c	3.07±0.00b
		ESS	6.20±0.20d	5.13±0.21e	9.30±0.25d	2.76±0.00c
5	路边青(<i>Geum aleppicum</i>)	CK	14.97±0.28a	29.60±0.36a	12.67±0.55d	0.17±0.01e
		LS	10.57±0.81b	26.30±1.15b	23.33±1.17a	0.27±0.00d
		MS	9.57±1.95c	19.90±0.79c	20.13±0.65b	1.03±0.01a
		SS	6.03±0.31d	17.70±0.76d	16.83±0.65c	0.65±0.01b
		ESS	4.47±0.30e	8.30±0.30e	13.57±0.12d	0.54±0.00c
6	白屈菜(<i>Chelidonium majus</i>)	CK	17.97±0.95a	31.83±0.21a	7.73±0.68e	0.13±0.01e
		LS	16.93±0.60a	31.33±0.70a	11.40±0.66d	0.40±0.00d
		MS	12.13±0.62c	25.37±1.06b	15.80±0.60c	0.87±0.02a
		SS	8.43±0.40d	20.00±0.36c	20.63±0.78a	0.64±0.00b
		ESS	7.57±0.36d	16.37±0.38d	16.87±0.40b	0.45±0.01c
7	叉分蓼(<i>Polygonum divaricatum</i>)	CK	32.67±0.83a	31.90±0.36a	6.37±0.15e	0.39±0.00e
		LS	31.97±1.74a	31.33±0.99a	14.10±0.46c	1.13±0.00c
		MS	27.27±0.68b	27.70±0.70b	18.17±0.49a	1.72±0.01a
		SS	22.70±1.10c	25.13±0.32c	15.87±0.50b	1.26±0.00b
		ESS	18.50±0.20d	22.47±0.31d	11.73±0.21d	0.88±0.01d
8	麻花头(<i>Serratula centauroides</i>)	CK	11.80±0.50a	20.77±0.75a	14.53±0.75e	0.14±0.00e
		LS	11.73±0.55a	20.70±0.63a	32.37±1.44a	0.88±0.00b
		MS	6.37±0.35b	13.57±0.60b	28.43±0.60b	1.54±0.00a
		SS	5.13±0.55c	11.83±0.35c	22.17±1.04c	0.77±0.00c
		ESS	4.53±0.87c	8.93±0.51d	17.90±0.56d	0.64±0.00d
9	草地风毛菊(<i>Saussurea amara</i>)	CK	14.40±0.58a	32.70±0.27a	14.60±1.02e	2.15±0.01d
		LS	11.53±0.42b	28.87±0.40b	46.63±1.50a	2.56±0.01c
		MS	7.73±0.55c	22.83±1.19c	32.17±0.35b	3.27±0.01a
		SS	5.30±0.30d	16.57±0.60d	21.77±0.87c	3.05±0.05b
		ESS	4.27±0.31e	12.23±0.25e	16.93±0.51d	2.68±0.01d
10	蹄叶橐吾(<i>Ligularia fischeri</i>)	CK	9.27±0.25a	15.30±0.62a	11.57±0.21d	0.22±0.02d
		LS	9.00±0.54a	15.17±0.79a	22.57±0.80b	0.37±0.02c
		MS	6.63±0.59b	12.17±0.35b	24.77±0.60a	0.59±0.01a
		SS	6.47±0.21b	10.17±0.25c	22.17±0.42b	0.47±0.01b
		ESS	5.40±0.36c	8.50±0.20d	18.07±0.51c	0.39±0.01c

续表 1

编号	种/品种	处理	株高/cm	冠幅/cm	根长/cm	根冠比
11	华北蓝盆花(<i>Scabiosa tschiliensis</i>)	CK	17.53±0.31a	24.73±0.75a	7.70±0.63e	0.13±0.00e
		LS	14.70±0.52b	18.17±0.35b	30.27±0.68a	0.40±0.01c
		MS	9.13±0.55c	17.00±0.20c	20.23±1.70b	0.51±0.01a
		SS	8.77±0.60d	14.00±0.50d	15.20±0.63c	0.42±0.01b
		ESS	5.20±0.30e	7.23±0.15e	11.43±0.86d	0.37±0.00d
12	蓬子菜(<i>Galium verum</i>)	CK	27.77±0.57a	17.97±0.68a	12.67±0.58e	0.64±0.02e
		LS	26.90±1.77a	17.93±0.42a	17.90±0.46d	0.91±0.02d
		MS	21.53±0.76b	14.53±0.31b	23.40±0.40c	1.45±0.00b
		SS	17.53±0.62c	12.10±0.66c	26.40±0.40a	2.34±0.09a
		ESS	15.07±0.59d	10.43±0.15c	24.70±0.40b	1.19±0.01c
13	紫花耧斗菜(<i>Aquilegia viridiflora</i> f. <i>atropurpurea</i>)	CK	24.37±0.85a	21.63±0.71a	6.50±0.20d	1.03±0.03e
		LS	22.90±0.66b	17.93±0.31b	9.40±0.10b	2.21±0.01d
		MS	17.67±0.42c	14.97±0.55c	11.53±0.35a	3.86±0.09a
		SS	11.27±1.17d	11.97±0.45d	9.67±0.21b	3.07±0.06b
		ESS	7.90±0.46e	9.17±0.60e	7.83±0.35c	2.76±0.01c
14	展枝唐松草(<i>Thalictrum squarrosum</i>)	CK	18.60±1.14a	42.63±0.35a	13.30±0.52d	0.37±0.00e
		LS	16.80±0.72b	36.73±0.25b	15.20±0.27c	0.76±0.01a
		MS	13.40±0.36c	31.50±0.50c	19.73±0.61a	0.54±0.01b
		SS	12.47±0.42d	27.73±0.31d	17.87±0.31b	0.48±0.00c
		ESS	8.00±0.35e	22.03±0.35e	15.87±0.40c	0.43±0.01d
15	独活(<i>Heracleum hemsleyanum</i>)	CK	18.37±0.35a	16.37±0.35a	9.37±0.35e	0.21±0.01e
		LS	16.73±0.61b	13.23±0.74b	14.30±0.27a	0.38±0.01c
		MS	14.17±0.76c	10.40±0.56c	12.30±0.30b	0.49±0.01a
		SS	12.33±1.14d	8.57±0.35d	11.57±0.25c	0.43±0.01b
		ESS	5.20±0.10e	6.90±0.53e	10.47±0.25d	0.32±0.06d
16	‘金娃娃’萱草(<i>Hemerocallis fulva</i> ‘Golden Doll’)	CK	12.53±1.36a	22.77±0.75a	12.30±1.66d	1.19±0.01e
		LS	12.30±0.59a	22.47±0.50a	20.33±1.53c	2.23±0.01d
		MS	11.57±0.75b	20.33±0.47b	25.37±1.32b	3.08±0.02b
		SS	9.47±0.25c	17.73±0.68c	27.97±0.84a	3.31±0.04a
		ESS	8.03±0.80d	15.83±0.59d	24.03±0.35b	2.86±0.01c
17	山麦冬(<i>Liriope spicata</i>)	CK	29.80±2.52a	32.67±0.76a	11.17±0.85d	0.47±0.02d
		LS	29.07±0.70a	32.60±0.36a	17.17±0.35c	0.75±0.01c
		MS	25.67±0.46b	28.77±0.25c	22.90±0.46b	0.95±0.04b
		SS	21.73±0.68c	25.77±0.75d	26.77±0.45a	1.20±0.01a
		ESS	18.30±1.15d	23.27±0.40e	22.57±1.10b	1.04±0.11b
18	马蔺(<i>Iris lactea</i> var. <i>chinensis</i>)	CK	53.50±1.11a	28.90±0.40a	12.23±0.75e	0.45±0.06e
		LS	53.93±1.72a	28.23±0.57a	15.73±0.45d	0.77±0.01d
		MS	47.70±1.47b	24.83±0.59b	27.50±0.50c	1.30±0.04c
		SS	42.27±0.51c	22.27±0.76c	38.67±1.76a	2.27±0.03a
		ESS	36.50±0.36d	20.50±0.21d	34.07±0.32b	1.77±0.01b
19	溪荪(<i>Iris sanguinea</i>)	CK	46.03±0.65a	28.57±0.60a	6.47±0.31e	0.42±0.00e
		LS	45.60±0.66a	27.67±0.60a	11.53±0.59d	0.78±0.01c
		MS	38.60±0.40b	21.50±0.50b	17.17±0.35a	0.91±0.01b
		SS	31.17±1.04c	19.80±0.72c	14.77±0.75b	1.30±0.01a
		ESS	30.33±2.08c	18.17±0.29d	12.53±0.68c	0.67±0.01d
20	地被石竹(<i>Dianthus plumarius</i>)	CK	18.07±0.31a	26.53±0.55a	16.73±0.55e	0.07±0.00e
		LS	18.13±0.48a	26.43±0.32a	22.40±0.46d	0.15±0.01d
		MS	14.27±0.76b	17.23±0.25b	26.47±1.00c	0.22±0.01c
		SS	10.87±0.74c	12.33±0.42c	36.73±0.31a	0.43±0.01a
		ESS	8.50±1.12d	9.10±0.27d	34.17±1.04b	0.38±0.02b
21	旱麦瓶草(<i>Silene jensisensis</i>)	CK	9.53±0.31a	13.97±0.35a	5.67±0.23e	0.09±0.01e
		LS	9.48±0.15a	13.83±0.47a	7.90±0.36d	0.12±0.00d

续表 1

编号	种/品种	处理	株高/cm	冠幅/cm	根长/cm	根冠比
22	蓝花棘豆(<i>Oxytropis coerulea</i>)	MS	8.33±0.15b	11.77±0.31b	12.20±0.27b	0.18±0.01c
		SS	7.50±0.20c	9.50±0.20c	16.83±0.35a	0.73±0.01a
		ESS	6.33±0.35d	7.90±0.44d	10.97±0.57c	0.63±0.00b
		CK	18.43±0.36a	32.87±0.32a	10.87±0.35e	0.13±0.01e
		LS	14.30±0.30b	26.98±0.67b	20.60±0.56a	0.67±0.01a
23	‘小兔子’狼尾草(<i>Pennisetum alopecuroides</i> ‘Little Bunny’)	MS	11.33±0.32c	22.47±0.50c	17.17±0.65b	0.57±0.01b
		SS	8.23±1.26d	18.40±0.36d	14.37±0.40c	0.41±0.01c
		ESS	5.73±0.55e	17.07±0.51e	13.90±0.46d	0.32±0.01d
		CK	51.00±2.65a	34.57±0.40a	17.23±0.38d	0.39±0.05e
		LS	47.00±0.62b	29.50±0.87b	27.23±1.17a	0.61±0.02d
24	黄芩(<i>Scutellaria baicalensis</i>)	MS	25.80±1.59c	26.33±0.50c	22.50±0.90b	1.12±0.01a
		SS	18.63±1.70d	19.20±0.27d	19.10±0.44c	0.81±0.01b
		ESS	15.07±0.55e	9.97±0.15e	18.47±0.38cd	0.70±0.01c
		CK	29.00±0.30a	35.50±0.62a	18.07±0.31e	4.26±0.01e
		LS	23.83±1.79b	31.33±0.76b	35.10±0.56a	6.08±0.04d
		MS	21.70±0.70c	23.57±0.40c	28.67±0.76b	10.94±0.1a
		SS	16.57±0.40d	21.63±0.71d	23.67±0.25c	9.91±0.01b
		ESS	11.13±1.33e	14.23±0.25e	20.33±0.42d	6.72±0.01c

注:同种/品种 5 个水分梯度下不同小写字母表示在 $P<0.05$ 水平差异显著。下同。

表 2 24 种试验材料的旱水比值

Table 2 Ratio of twenty four test materials

种/品种	株高/cm	冠幅/cm	根长/cm	根冠比
菊叶委陵菜	0.68a	0.76a	2.07a	2.11a
二裂委陵菜	0.63abc	0.73b	2.09ab	2.08gh
地榆	0.29h	0.33j	1.27d	1.06k
龙牙草	0.30h	0.28k	1.21e	3.40d
路边青	0.30h	0.28k	1.07e	2.04gh
白屈菜	0.42ef	0.51e	2.19a	3.44d
叉分蓼	0.57cd	0.70b	1.84b	2.25fg
麻花头	0.38fg	0.43g	1.24e	2.55higk
草地风毛菊	0.30h	0.37i	1.17e	1.25jk
蹄叶橐吾	0.58bde	0.56d	1.56c	1.82ghij
华北蓝盆花	0.30h	0.29k	1.49cd	2.81e
蓬子菜	0.54d	0.58d	1.95ab	1.86ghi
紫花楼斗菜	0.32gh	0.42gh	1.21e	2.68ef
展枝唐松草	0.43ef	0.48f	1.17e	1.16ijk
独活	0.28h	0.28k	1.12e	1.51higk
‘金娃娃’萱草	0.64ab	0.71b	1.98ab	2.86efg
山麦冬	0.62abc	0.71b	2.03ab	2.21fg
马蔺	0.69a	0.71b	2.17a	4.03c
溪荪	0.66a	0.64c	1.94ab	1.61hilk
地被石竹	0.47e	0.34j	2.04ab	5.26b
旱麦瓶草	0.67a	0.57d	1.94ab	6.70a
蓝花棘豆	0.31h	0.52e	1.28d	2.42efg
‘小兔子’狼尾草	0.30h	0.29k	1.07e	1.80ghij
黄芩	0.38fg	0.40h	1.13e	1.58hijk

现,随着干旱胁迫的加重,大蒜生长指标显著降低,植株生长缓慢。关春景^[11]等对不同品种的矮牵牛干旱处理发现,随着水分的减少,株高出现不同程度下降。在本研究中,随着干旱胁迫的加重,所有试验

材料的株高和冠幅均减小,株高和冠幅的旱水比值均<1,这与前人研究的干旱胁迫会抑制茎叶生长的观点一致^[12]。

根是植物吸收水分的主要器官,当植物受到干旱胁迫时,为了从土壤中吸收更多的水分以满足生长需要,根系会再次生长发育,以达到抵御干旱的目的,当土壤相对含水量小于植物所能承受的最低限时,根系的生长便受到抑制,水分吸收的能力下降^[13-14]。因此,随着干旱胁迫的加重,根系的长度呈现先增加后下降的趋势^[15]。当根系的生长速度>地上部分,根冠比增大,根系可以不断从土壤中吸收水分以保证地上部分的生长,表现较强的抗旱性^[16-17],当土壤相对含水量小于植物所能承受的最低限度时,地下部分的生长速度<地上部分,根冠比减小^[18],这与本试验的研究结果一致。

抗旱植物往往具有植株紧密、根系发达、根系生长能力强、较大根冠比等形态特征。因此,可以利用植物的生长指标来评价植物的抗旱能力^[19],本研究的排序结果证实了马蔺确实为强抗旱性宿根花卉^[3],本研究引自内蒙的 16 种材料和已有栽培但尚待推广的 4 种材料的抗旱性均不及马蔺,在极重度干旱或土壤水分不足之处进行园林绿化,马蔺仍是最佳选择。委陵菜属植物普遍具有较强的抗旱性^[20],在本研究中 2 种委陵菜属植物抗旱性排序均较靠前,其中菊叶委陵菜位列第 2,二裂委陵菜位列第 5,与‘金娃娃’萱草排名相近,根据北京市地方标准,‘金娃娃’萱草为中抗旱,因此,本研究认为引种的 2 种委陵菜植物抗旱性较强或中等,且委陵菜属

表 3 24 种试验材料生长指标的隶属函数值

Table 3 Subordinate function values of growing index of twenty four test materials

种/品种	株高	冠幅	根长	根冠比	平均隶属函数值	抗旱性排序
马蔺	1.00	0.90	0.98	0.53	0.853	1
旱麦瓶草	0.95	0.60	0.78	1.00	0.833	2
菊叶委陵菜	0.98	1.00	0.89	0.19	0.765	3
‘金娃娃’萱草	0.88	0.90	0.81	0.32	0.728	4
二裂委陵菜	0.85	0.94	0.91	0.18	0.720	5
山麦冬	0.83	0.90	0.86	0.20	0.698	6
溪荪	0.93	0.75	0.78	0.10	0.640	7
叉分蓼	0.71	0.88	0.69	0.21	0.623	8
白屈菜	0.34	0.48	1.00	0.42	0.560	9
地被石竹	0.46	0.13	0.87	0.74	0.550	10
蓬子菜	0.63	0.63	0.79	0.14	0.548	11
蹄叶橐吾	0.73	0.58	0.44	0.13	0.470	12
蓝花棘豆	0.07	0.50	0.19	0.24	0.250	13
麻花头	0.24	0.31	0.15	0.26	0.240	14
展枝唐松草	0.37	0.42	0.09	0.02	0.225	15
华北蓝盆花	0.19	0.02	0.38	0.31	0.225	16
紫花楼斗菜	0.10	0.29	0.13	0.29	0.203	17
龙牙草	0.05	0.00	0.13	0.60	0.195	18
黄芩	0.24	0.25	0.05	0.09	0.156	19
草地风毛菊	0.05	0.19	0.09	0.03	0.090	20
地榆	0.02	0.1	0.18	0	0.075	21
路边青	0.05	0	0	0.17	0.055	22
‘小兔子’狼尾草	0.05	0.02	0	0.13	0.050	23
独活	0	0	0.04	0.08	0.030	24

植物植株低矮,耐践踏,花、叶兼具观赏性,结合节水灌溉,可在干旱地区做缀花草坪或地被材料应用。山麦冬在北京地区园林绿化中应用极为广泛,王倩^[21]研究表明山麦冬在轻度干旱胁迫下生长良好,中度干旱有一定的耐受力,在本研究中,山麦冬抗旱性排序也较靠前,而且山麦冬具有较强的抗寒能力,因此是北京地区应用较多的地被材料。赵燕燕^[22]、王子凤^[23]认为溪荪为弱抗旱,姚侠妹^[24]认为地被石竹具有较强的抗旱性,但在本研究中溪荪的抗旱性排序要先于地被石竹,原因可能是评价指标不同,从而抗旱性评价结果不同。而对于其他引种的宿根花卉,如叉分蓼、白屈菜、蓬子菜、龙牙草等,在园林中应用较少或未见应用,本研究根据生长指标对其抗旱性强弱进行了综合排序,以期为其进一步的引种应用提供参考。对于北京地区已有栽培但尚待推广的 4 种宿根花卉,旱麦瓶草的抗旱性排序仅次于马蔺,位列第 2,因此,从抗旱性来考虑,旱麦瓶草在干旱地区园林绿化中具有很好的应用前景,而蓝花棘豆、‘小兔子’狼尾草、黄芩的抗旱性较差,在未来的推广应用中还需进一步考虑。

植物的抗旱性是十分复杂的,本研究仅对 24 个

材料在干旱胁迫下的生长状况进行测定及评价,未涉生理生化及分子层面的研究,研究结果具有一定的片面性,且试验是在盆栽环境中进行的,与自然环境有一定差异,在以后的研究中还需结合自然环境条件、生理生化及分子生物学,为宿根花卉的抗旱性研究及园林应用提供更加科学的参考。

参考文献:

[1] 韦小丽.喀斯特地区 3 个榆科树种整体抗旱性研究[D]. 南京: 南京林业大学,2005.

[2] 王莺璇. 7 种百合科园林地被植物的抗旱性研究[D]. 昆明: 云南农业大学,2012.

[3] DB11/T 1297—2015. 绿地节水技术规范-北京市地方标准[S]. 2016.

[4] 陈文荣,曾玮玮,李云霞,等. 高丛蓝莓对干旱胁迫的生理响应及其抗旱性综合评价[J]. 园艺学报,2012,39(4):637-646.

[5] 王斌,杨秀珍,戴思兰. 4 种园林树木抗旱性的综合分析[J]. 北京林业大学学报,2013,35(1):95-102.

WANG B, YANG X Z, DAI S L. Comprehensive analysis of drought resistance of four garden trees [J]. Journal of Beijing Forestry University,2013,35(1):95-102. (in Chinese)

[6] 王琪. 几个芍药品种对低温、干旱及盐碱胁迫的生理生化研究[D]. 北京:北京林业大学,2013.

[7] 张素瑜,王和洲,杨明达. 水分与玉米秸秆还田对小麦根系生长

和水分利用效率的影响[J]. 中国农业科学, 2016, 49(13): 2484-2496.

[8] 厉广辉. 花生抗旱性状鉴定及不同品种抗旱的生理机制研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2014.

[9] 谢飞, 闫倩倩, 郭星, 等. 白龙江干旱河谷 5 种灌木抗旱性评价及分析[J]. 中南林业科技大学学报, 2018, 38(8): 51-56.

XIE F, YAN Q Q, GUO X, *et al.* Evaluation and analysis of drought resistant ability of five shrubs in dry valley at the Bailongjiang river of Gansu province [J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2018, 38(8): 51-56. (in Chinese)

[10] 田萌, 王丽慧, 钟启文, 等. 干旱胁迫对大蒜生长及生理特性的影响[J]. 青海大学报, 2018, 36(4): 48-53.

TIAN M, WANG L H, ZHONG Q W, *et al.* Effects of drought stress on growth and physiological properties of garlic[J]. Journal of Qinghai University, 2018, 36(4): 48-53. (in Chinese)

[11] 关春景, 焦孟月, 张彦妮. 8 个矮牵牛品种抗旱性综合评价分析[J]. 西北林学院报, 2018, 33(2): 62-69.

GUAN C J, JIAO M Y, ZHANG Y N. Comprehensive evaluation and analysis of drought resistance of 8 Petunia Cultivars [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2018, 33(2): 62-69. (in Chinese)

[12] 李吉跃. 植物耐旱性及其机理[J]. 北京林业大学学报, 1991, 13(3): 92-100.

LI J Y. Plant drought tolerance and its mechanism [J]. Journal of Beijing Forestry University, 1991, 13 (3): 92-100. (in Chinese)

[13] 冯黎. 北京地区部分景天属植物抗旱性及园林应用研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2015.

[14] 李吉跃. 抗旱节水造林技术及其应用[M]. 北京: 中国林业出版社, 2011.

[15] 安玉艳, 梁宗锁, 郝文芳. 杠柳幼苗对不同强度干旱胁迫的生长与生理响应[J]. 生态学报, 2011, 31(3): 716-725.

AN Y Y, LIANG Z S, HAO W F. Growth and physiological responses of the *Periploca sepium* Bunge seedlings to drought stress[J]. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(3): 716-725. (in Chinese)

[16] 王玉涛. 北京城市优良抗旱节水植物材料的筛选与评价研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2008.

[17] 李瑞姣, 岳春雷, 李贺鹏, 等. 干旱胁迫对日本荚蒾幼苗生理生化特性的影响[J]. 西北林学院学报, 2018, 33(2): 56-61.

LI R J, YUE C L, LI H P, *et al.* Effects of drought stress on the physiological and biochemical characteristic of *Viburnum japonicum* seedlings[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2018, 33(2): 56-61. (in Chinese)

[18] 景蕊莲. 作物抗旱性研究的现状与思考[J]. 干旱地区农业研究, 1999, 17(2): 1-6.

[19] YADETA A, GELETU B. Evaluation of *Ethiopian chickpea* landraces for tolerance to drought [J]. Genetic Resources and Crop Evolution, 2002(49): 557-564. (in Chinese)

[20] 尤凤丽, 曲丽娜, 赵晓菊, 等. 大庆地区委陵菜属植物园林应用评价[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(21): 12974-12976.

YOU F L, QU L N, ZHAO X J, *et al.* Evaluation on landscape application of plants of potentilla in Daqing City[J]. Journal of Anhui Agri. Sci., 2011, 39(21): 12974-12976. (in Chinese)

[21] 王倩. 逆境胁迫下短葶山麦冬生理生化响应与园林应用的研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2012.

[22] 赵燕燕. 鸢尾属几种植物的抗旱性研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2007.

[23] 王子凤. 鸢尾属 6 种植物对干旱胁迫的响应[D]. 南京: 南京林业大学, 2009.

[24] 姚侠妹. 地被石竹光合及水分生理特性的研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2007.

(上接第 117 页)

[19] 永田 洋, 佐佐木惠彦. 树木环境生理学[M]. 东京: 文堂出版社, 2002: 257.

[20] BARTHELEMY D, CARAGLIO Y. Plant architecture: a dynamic, multilevel and comprehensive approach to plant form, structure and ontogeny[J]. Annals of Botany, 2007, 99: 375-407.

[21] COOKE J E K, ERIKSSON M E, JUNTILLA O. The dynamic nature of bud dormancy in trees: environmental control and molecular mechanisms[J]. Plant Cell Environ. 2012, 35: 1707-1728.

[22] KAWAMURA K, TAKEDA H. Light environment and crown architecture of two temperate vaccinium species: inherent growth rules versus degree of plasticity in light response[J]. Canadian Journal of Botany, 2002, 80(10): 1063-1077.

[23] EVERS J B, VOS J, ANDRIEU B, *et al.* Cessation of tillering in spring wheat in relation to light interception and red : far-red ratio[J]. Annals of Botany, 2006, 97(4): 649-658.

[24] 劉震. 亜熱帯域に分布するイイギリの休眠に関する研究[R]. 三重大学演習林報告, 2000: 107-161.

[25] LIU Z, KUSHIDA T, NAKASHIMA A, *et al.* Studies of external environment factors inducing apical growth cessation in seedlings of *Idesia polycarpa*[J]. Environmental Engineering Research, 1998, 35: 487-493

[26] 永田洋, 中岛敦. 万木豊. 树木の芽の休眠[R]. 三重大学演習林報告, 1994, 18: 17-42.

[27] 吴慧源. 不同种源山桐子年生长发育规律差异性研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2015.

[28] 永田 洋. 林木の芽の休眠[J]. 植物の化学調節, 1969, 4(1): 33-39.

[29] 刘震, 何松林, 王艳梅, 等. 泡桐顶侧芽休眠发育的温度特性研究[J]. 林业科学, 2004, 40(3): 46-50.

[30] 刘震, 毕会涛, 蒋建平, 等. 泡桐侧芽萌发成枝接干规律[J]. 林业科学, 2005, 41(4): 42-47.

LIU Z, BI H T, JIANG J P, *et al.* The laws of branching and trunk extension sprouted from lateral buds in *Paulownia* trees [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2005, 41(4): 42-47. (in Chinese)