

4 种宿根花卉在自然失水胁迫下的生理变化与抗旱性关系*

李 涛,王 飞,卢 艳,王 虹

(西北农林科技大学 园艺学院,陕西杨凌 712100)

摘 要: 对陕西关中地区常见的 4 种宿根花卉的抗旱性进行了研究,为园林绿化中耐旱植物资源筛选和园林应用提供理论和实践依据。通过盆栽 4 种宿根花卉,对其进行连续 21 d 的自然失水胁迫处理,研究供试植物在干旱胁迫下的植株外观生长状况以及叶片的游离脯氨酸、叶绿素、相对含水量、相对电导率、可溶性蛋白质以及 SOD 活性的变化,并应用模糊数学中的隶属函数值法对 4 种宿根花卉的综合抗旱适应性进行评价。在干旱胁迫下各参试植物的各指标变化显著,综合分析各指标,4 种宿根花卉抗旱性由强至弱排序为:短茎鸢尾>紫玉簪>金娃娃萱草>秋菊贵妃红。短茎鸢尾、紫玉簪、金娃娃萱草具有很强的抗旱性,在园林绿化中应大力推广应用。

关键词: 宿根花卉;抗旱性;水分胁迫;叶片生理指标;隶属函数值

中图分类号:S682.1

文献标识码:A

文章编号:1004-1389(2010)10-0146-06

Relationship between Physiological Changes and Drought Tolerance
in Four Perennial Root Flower Plants under Drought Stress

LI Tao, WANG Fei, LU Yan and WANG Hong

(College of Horticulture, Northwest A&F University, Yangling Shaanxi 712100, China)

Abstract: Study on the drought tolerance of four perennial root flower plants which grown in Guanzhong district of Shaanxi province, aims to provide the theoretical and practical references for selecting and applying of the drought-tolerance landscape plants resources in landscape planning and management. Physiological indices in leaves of these flower plants were continuously observed for 21 days by pot experiment under artificial water stress conditions, and changes of the plant appearance, proline content, chlorophyll, relative water content, relative electrolyte leakage and soluble protein content as well as SOD activity were measured and a comparison of the subordinate function values of each plants was used to decide the drought-resistance order of each perennial root flower plants. The physiological indices of each plants changed significantly, the drought-resistance order of the four perennial root flower plants was that *I. brevicaulis* > *H. ventricosa* > *H. fulva* Stella deora > *Dracopis morifolium* Guifeihong. *I. brevicaulis*, *H. ventricosa*, and *H. fulva* Stella deora are well-drought-resistance root flower plants, which should be widely used in landscape planning and management.

Key words: Perennial root flower plants; Drought tolerance; Drought stress; Physiological indices; Subordinate function value

水资源缺乏是中国大部分地区乃至全球性的 问题,因此,节水灌溉和培育耐旱新品种均有重要

* 收稿日期:2010-03-20 修回日期:2010-04-28

基金项目:中国科学院知识创新项目(黄土高原快速绿化与植被恢复 kzcxz-xb1-06)。

第一作者:李 涛,男,在读硕士,主要从事园林植物生理生态研究。

通讯作者:王 飞,教授,博士生导师,主要从事果树及花卉生理与生物技术育种研究。E-mail : xnwangfei521 @126.com

意义。当前,有关植物抗旱性的研究已有很多报道^[1-5],有研究认为植物遭受干旱等逆境时,体内活性氧产生与清除的代谢系统失调,导致活性氧过量积累而造成伤害。植物为保护自身免受活性氧的伤害,形成了内源保护系统,包括抗氧化酶类和非酶抗氧化剂,维护体内活性氧代谢的平衡^[6]。此外,水分胁迫时,植物体内积累各种有机物质和无机物质,提高细胞液浓度,降低其渗透势,保持一定的压力势,使植物保持体内水分,以适应水分胁迫环境^[7]。近年来,有关观赏植物抗旱性的研究很多^[7-12],但对关中地区几种常见的宿根花卉抗旱性的研究几乎无报道。关中是全国

水资源严重缺乏的地区之一,因而研究其园林植物的抗旱性,对丰富本地区园林植物资源、改善人工植物群落结构以及节约用水都有很重要的意义。作者对4种宿根花卉干旱胁迫下的生理变化规律进行研究,旨在为园林绿化中耐旱植物资源筛选和园林应用提供理论和实践依据。

1 材料与方法

1.1 供试植物

供试植物主要是国内关中地区已广泛应用于城市园林绿化中的宿根花卉植物(表1)。各供试植物均购自周至裕盛花卉苗圃市场。

表 1 4 种宿根花卉的生物学特性

Table 1 Basic information of four perennial root flower plants

名称 Name	科属 Genus	生物学特性 Biological characteristics
金娃娃萱草 <i>H. fulva</i> Stella deora	百合科 萱草属	地下具根状茎和肉质肥大的纺锤块根。叶基生,条形,排成两列,长约 25 cm,宽 1 cm。株高 30 cm,花茎粗壮,高约 35 cm。螺旋状聚伞花序。花冠漏斗形,金黄色。花期 5—11 月,单花开放 5~7 d。
短茎鸢尾 <i>I. brevicaulis</i>	鸢尾科 鸢尾属	根状茎匍匐多节,粗而节间短,浅黄色。叶为渐尖状剑形,宽 2~4 cm,长 20~35 cm,质薄,淡绿色,呈二纵列交互排列,基部互相包叠。春至初夏开花,总状花序 1~2 枝,花蝶形,花期 4—6 月。
紫玉簪 <i>H. ventricosa</i>	百合科 玉簪属	叶基生成丛,卵形至心状卵形,基部心形,叶脉呈弧状。总状花序顶生,高于叶丛,管状漏斗形,浓香。花期 6—8 月。
秋菊贵妃红 <i>Dendranthema morifolium</i> Guifeihong	菊科 菊属	株高 40~60 cm,茎色嫩绿或褐色,基部半木质化。单叶互生,卵圆至长圆形。边缘有缺刻及锯齿,头状花序顶生。

1.2 盆栽试验

选取长势基本一致的一年生苗移栽于口径 25 cm,高 20 cm 的花盆内,盆土以泥炭和园土按体积比为 1:3 进行配制,每盆装相同质量的土壤,两个月以后用于试验。在关中夏季自然气候条件下遮雨栽培,以浇透水后 2 d 作为干旱胁迫基点,作自然失水处理,对照组每 2 d 浇水 1 次,每次均浇透水。4 种宿根花卉各处理重复 20 盆,每盆 3 株,随机排列。分别于胁迫第 0、3、6、9、12、15、18、21 天随机取样测定生理指标,重复 3 次,采样时间为早上 8:00—9:00,采样部位为成熟叶片的中上部,即离心叶附近的一到二片叶。试验于 2009-05—2009-07 在西北农林科技大学园艺学院实验室及南校区中心实验楼后隔雨棚内进行。

1.3 测定方法

叶片相对含水量的测定采用烘干法,叶片相对含水量=(叶片鲜质量-叶片干质量)/(叶片饱和质量-叶片干质量)×100%;茚三酮法测定脯氨酸含量;电导法测定相对电导率;NBT 光还原法测定 SOD 活性;TBA 比色法测定 MDA 含量;体积分数为 80%丙酮提取法测定叶绿素含

量;考马斯亮蓝 G-250 染色法测定可溶性蛋白质含量。具体方法参照《植物生理研究技术》^[13-14]。

1.4 抗旱性评价方法

抗旱性评价应用模糊数学中隶属函数值法^[13],以相对含水量、细胞膜透性、叶片游离脯氨酸含量、SOD 活性、叶绿素含量以及可溶性蛋白质含量进行综合评价。

隶属函数值计算公式:

$$R(X_i) = (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$$

式中, X_i 为指标测定值, $X_{\min}$ 、 $X_{\max}$ 为所有参试材料某一指标的最小值和最大值。如果为负相关,则用反隶属函数进行转换,计算公式为:

$$R(X_i) = 1 - (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$$

2 结果与分析

2.1 干旱胁迫下供试植物的形态变化

随着干旱胁迫时间的延长,各试验材料发生了形态上的变化,表现出失水,叶片萎蔫失绿,直至部分干枯。从观察中可以看出,试验 3 d 时,各试验材料形态没有发生任何变化。6 d 时,秋菊贵妃红叶片部分失水,下垂,其他 3 种材料正常。

到试验 9 d 时,除秋菊贵妃红叶片明显失水,下垂外,其他 3 种形态变化仍不明显。15 d 时,秋菊贵妃红顶端幼嫩组织倒伏,所有叶片均下垂,基部叶片失绿。金娃娃萱草和紫玉簪表现基本相同,即外缘部分叶片干枯,心叶生长缓慢。短茎鸢尾外缘叶片出现萎缩,但没有发生明显的干枯现象。21 d 时,秋菊贵妃红已完全失去观赏价值,整株植物近于干枯。金娃娃萱草和紫玉簪叶片干枯数量明显增加,且部分心叶失绿。短茎鸢尾外缘出现枯叶,心叶顶端干枯或变黄。

2.2 干旱胁迫下供试植物叶片相对含水量的变化

相对含水量(RWC)常用作鉴定植物的耐(抗)旱性。在自然失水胁迫过程中,4 种宿根花卉的 RWC 均呈明显下降趋势(图 1)。而连续浇水的对照则维持在 85% 以上的稳定水平(通过试验观察,由于对照是每 2 d 浇水 1 次,故对照值变化不明显,趋近于 0 d 时的值,所以在本文中各对照生理指标值未列出,下同)。在整个胁迫过程中,短茎鸢尾和紫玉簪的 RWC 下降较为平缓,下降幅度分别为 35.7% 和 46.3%。在胁迫 12 d 以后,金娃娃萱草的 RWC 下降迅速,至 21 d 下降到 41.6%。秋菊贵妃红对于干旱反应最明显,在胁迫第 6、9、12、15 天时 RWC 呈直线下降趋势,分别降至 84.5%、70.2%、50.3% 和 36.9%。

2.3 干旱胁迫下供试植物叶片相对电导率的变化

植物细胞膜对维持细胞的微环境和正常的代谢起着重要的作用,在正常情况下,细胞膜对物质具有选择透过性。从图 2 可以看出,随着干旱胁迫时间的延长,4 种宿根花卉细胞膜相对电导率呈递增的趋势,在 21 d 时达到了最大值。其中,秋菊贵妃红的增幅最大,尤其是 12 d 以后增长迅速,21 d 时从胁迫基点的 24.1% 增至 72.1%,这说明秋菊贵妃红在受到干旱胁迫时,细胞膜受损比较严重。虽然金娃娃萱草的相对电导率是一种持续缓慢上升的趋势,但是在整个胁迫过程中其增幅也达到了 42.6%。短茎鸢尾和紫玉簪的相对电导率上升的比较缓慢,在 21 d 时分别比 0 d 时增长了 25.4% 和 32.9%。

2.4 干旱胁迫下供试植物叶片游离脯氨酸(Pro)的积累

干旱胁迫下,植物体内游离脯氨酸的积累在高等植物中是普遍现象^[12]。大量研究表明,水分

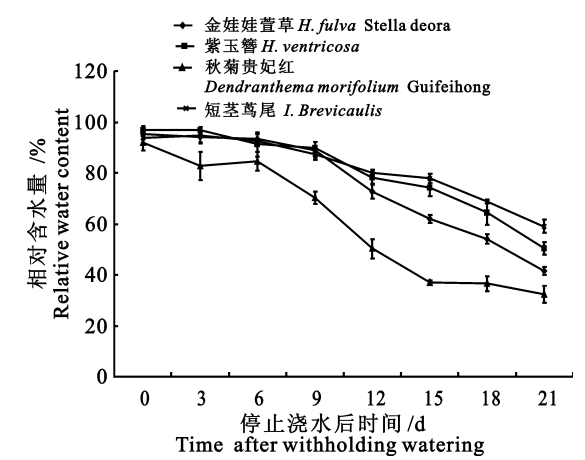


图 1 干旱胁迫对 4 种宿根花卉叶片相对含水量的影响
Fig. 1 Changes in relative water content in four perennial root flower plants' leaves subjected to drought stress

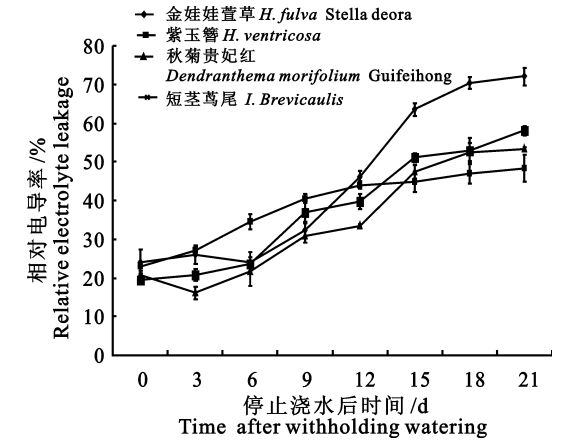


图 2 干旱胁迫对 4 种宿根花卉叶片相对电导率的影响
Fig. 2 Changes in relative electrolyte leakage in four perennial root flower plants' leaves subjected to drought stress

胁迫下植物体内游离脯氨酸含量与植物抗旱性之间存在相关性^[1,8,10]。本研究发现,随着干旱胁迫时间的延长,干旱程度的加深,植物叶片中游离脯氨酸含量呈显著上升趋势(图 3),在 21 d 达到了最大值,尤其是秋菊贵妃红表现最为明显,在 21 d 时游离脯氨酸含量比 0 d 增加了 14.2 倍。自干旱胁迫至 12 d,紫玉簪的脯氨酸含量基本维持在 0 d 的水平,虽 12 d 以后开始缓慢增加,但紫玉簪仍为最低。短茎鸢尾和金娃娃萱草的脯氨酸增量基本保持一致的水平,15 d 以后短茎鸢尾增量下降,21 d 分别比 0 d 增长 4.5 和 9.1 倍。

2.5 干旱胁迫下供试植物叶片超氧化物歧化酶(SOD)的变化

图 4 显示,4 种宿根花卉在干旱胁迫环境中的 SOD 活性都表现出先上升后下降的趋势:在胁迫

迫初期活性明显提高,其中短茎鸢尾、紫玉簪和金娃娃萱草在 9 d 时达到峰值,而秋菊贵妃红在 6 d 达到最大值,而后活性降低。短茎鸢尾的 SOD 活性最高,但其变化的幅度比较小,处于持续波动变化状态。18 d 时,紫玉簪和短茎鸢尾的 SOD 活性又有不同程度的增加。

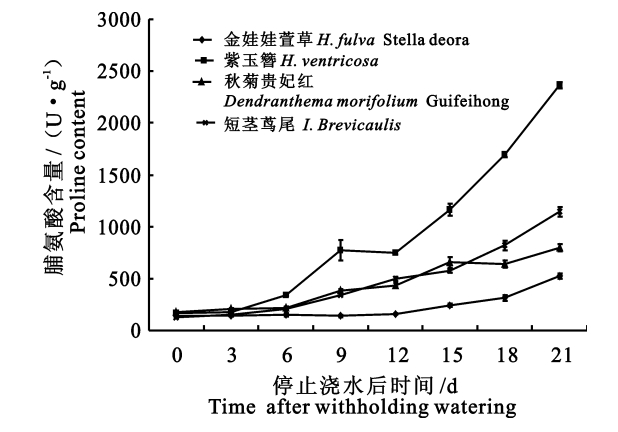


图 3 干旱胁迫对 4 种宿根花卉叶片游离脯氨酸含量的影响
Fig. 3 Changes in praline content in four perennial root flower plants' leaves subjected to drought stress

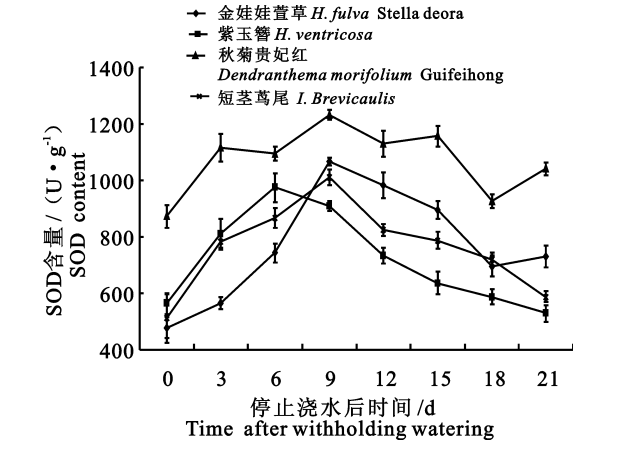


图 4 干旱胁迫对 4 种宿根花卉叶片 SOD 活性的影响
Fig. 4 Changes in SOD activity in four perennial root flower plants' leaves subjected to drought stress

2.6 干旱胁迫下供试植物叶片叶绿素含量的变化

从图 5 可见,在干旱胁迫的前 6 d,各供试植物的叶绿素含量都表现为持续上升,而短茎鸢尾在 9 d 降到最小值(1.26 mg/g),12 d 又达到最大值(2.10 mg/g),而后持续降低。紫玉簪在 12 d 达到最大值(2.68 mg/g)后又缓慢下降。秋菊贵妃红和金娃娃萱草在整个胁迫过程中叶绿素的变化总体趋势为上升,21 d 分别比 0 d 增加了 1.86 和 1.22 mg/g。

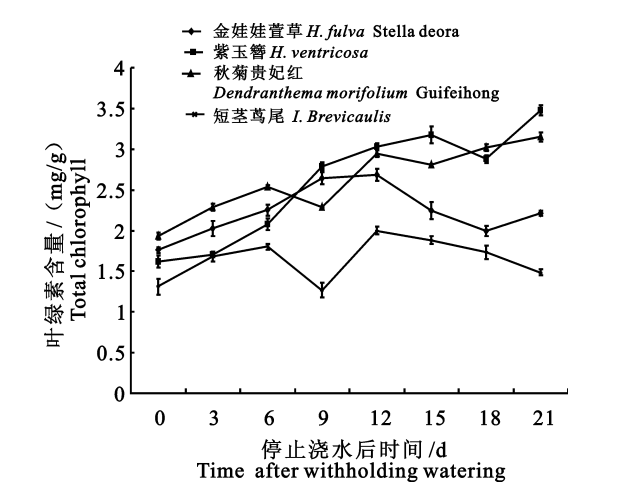


图 5 干旱胁迫对 4 种宿根花卉叶片叶绿素总量的影响
Fig. 5 Changes in total chlorophyll in four perennial root flower plants' leaves subjected to drought stress

2.7 干旱胁迫下供试植物叶片可溶性蛋白的含量变化

干旱胁迫下 4 种宿根花卉的可溶性蛋白含量都表现为先升后降的趋势(图 6),其中,秋菊贵妃红的变化最为显著。自干旱胁迫伊始,各供试种的含量就表现明显不同(紫玉簪>短茎鸢尾>金娃娃萱草>秋菊贵妃红),9 d 时秋菊贵妃红含量直线上升,至 15 d 达到最大值(18.25 mg/g),而后迅速下降到 21 d 的 9.92 mg/g。紫玉簪在 12 d 达到最大值(19.86 mg/g),短茎鸢尾和金娃娃萱草在整个胁迫过程中变幅较小,21 d 时各参试种含量排序为紫玉簪(14.58 mg/g)>秋菊贵妃红(9.92 mg/g)>短茎鸢尾(8.67 mg/g)>金娃娃萱草(7.69 mg/g)。

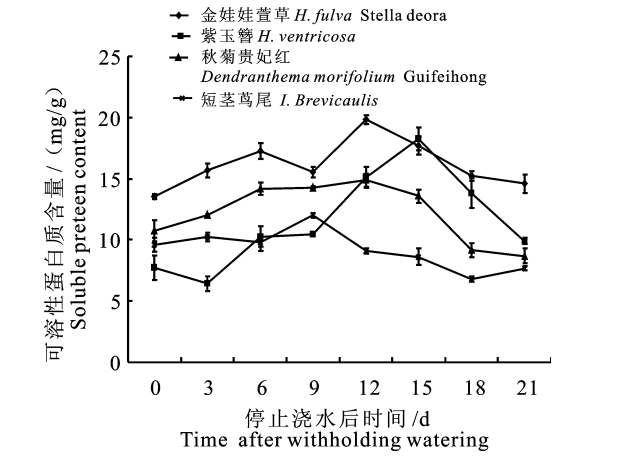


图 6 干旱胁迫对 4 种宿根花卉叶片可溶性蛋白质含量的影响
Fig. 6 Changes in soluble protein content in four perennial root flower plants' leaves subjected to drought stress

2.8 4 种宿根花卉抗旱性综合评价

以相对含水量、相对电导率、叶片游离脯氨酸含量、SOD 活性、叶绿素含量以及可溶性蛋白质含量 6 个指标为依据,计算各指标的隶属函数值,

并进行综合评价,结果见表 2。抗旱性由大到小排列顺序为短茎鸢尾>紫玉簪>金娃娃萱草>秋菊贵妃红。

表 2 4 种宿根花卉各指标隶属函数值
Table 2 Subordinate function value of four perennial root flower plants

品 种 Species	游离脯氨酸 Proline content	可溶性蛋白质 Soluble protein content	超氧化物 歧化酶 SOD activity	叶绿素 Chlorophyll	相对电导率 Relative electrolyte leakage	相对含水量 Relative water content	平均 Average	抗旱性排序 Drought resistance order
短茎鸢尾 <i>I. brevicaulis</i>	0.86	0.43	0.79	0.83	0.60	0.77	0.71	1
紫玉簪 <i>H. ventricosa</i>	0.96	0.73	0.39	0.57	0.67	0.74	0.68	2
金娃娃萱草 <i>H. fulva</i> Stella deora	0.84	0.21	0.37	0.39	0.61	0.67	0.52	3
秋菊贵妃红 <i>Dendranthema morifolium</i> Guifeihong	0.64	0.38	0.32	0.40	0.49	0.44	0.45	4

3 讨 论

本研究表明,在水分胁迫下,4 种宿根花卉叶片的各项生理指标都有所变化,在一定程度上反映了植物对于旱胁迫的适应性。从形态变化来看,短茎鸢尾的抗旱性能最强,秋菊贵妃红最弱。相对含水量(RWC)能更好地反映植物的水分状况^[13],本研究中,抗旱性强的组织含水量较高,而且在干旱胁迫下下降速度慢。逆境下脯氨酸和电解质外渗率的变化可用作反映植物抗逆性的参考性生理指标^[8]。本试验中,随干旱胁迫时间的延长,供试植物叶片中游离脯氨酸和电解质外渗率均随之增加,增加幅度越大的植物,其耐干旱胁迫的能力相对较小。水分胁迫下叶绿素含量的变化可以指示植物对水分胁迫的敏感性^[12],植物受到干旱胁迫时,由于严重缺水,常常造成细胞质的破坏,叶绿素也会发生降解,研究显示,抗旱性强的叶绿素含量表现为少量上升而后下降的趋势,而抗旱性弱的则持续缓慢上升。SOD 是一种清除超氧阴离子自由基(O₂⁻)的酶^[15]。通常抗逆性强的植物在逆境胁迫下可诱导产生较多的抗氧化酶及其他非酶类抗氧化剂,提高抗逆性,以抵御活性氧化损伤及致死效应。在干旱胁迫下,植物也会产生诱导蛋白,这些诱导蛋白可以增强植物的耐脱水能力,参与渗透调节和水分运输,保护细胞结构。本研究说明抗旱性强的积累较多的可溶性蛋白,抗旱性弱的积累的可溶性蛋白较少。在逆境胁迫下,体内的可溶性蛋白含量会上升,来减少干旱的影响,而长时间的干旱,则又会使这种作

用下降。本试验中,受干旱胁迫影响 4 种宿根花卉的各生理指标变化不仅相同,其综合抗旱能力也存在显著差异性,这可能与它们的生理结构有关,短茎鸢尾的根茎比较肥大,贮水能力比较强,因此能维持较长的时间。金娃娃萱草和紫玉簪也具有易于贮水的根茎,且叶片上有蜡质保护,蒸腾速率较慢,所以萎蔫速度相对较慢。秋菊贵妃红叶片易失水,根茎贮水能力也差,所以萎蔫速度最快。

植物的抗旱能力是一种复合性状,是从植物的形态解剖构造、水分生理生态特征及生理生化反应到细胞、光合器官及原生质结构特点的综合反映^[16]。单纯地用一个抗旱指标很难说明问题,只有采用多指标的综合评价,才能比较客观地反映植物的抗旱性。为了全面准确地利用各指标对植物的抗旱性进行综合评价,人们先后提出了隶属函数法、分级评价法、直接比较法^[17]。本研究通过对 4 种宿根花卉在干旱胁迫下相应生理指标的测定,利用隶属函数值法,得到抗旱性度量值(x 值)。采用本试验方法鉴定出的 4 种宿根花卉抗旱性强弱顺序为短茎鸢尾>紫玉簪>金娃娃萱草>秋菊贵妃红。

植物的抗旱性是十分复杂的,不但受多个基因控制,而且通过多个途径来实现^[12]。本文水分胁迫试验是在盆栽环境中进行的,与实际生境有一定差异。因此,今后对宿根花卉抗旱性进行全面评价时,应当结合实际生境试验,从生态、生理两方面进行考虑,进一步深化植物抗旱性研究,为园林植物配置及资源的合理化利用提供更加准

确详细的科学依据。

参考文献:

[1] 卢少云,陈斯平,陈斯曼,等. 三种暖季型草坪草在干旱条件下脯氨酸含量和抗氧化酶活性的变化[J]. 园艺学报,2003,30(3):303-306.

[2] 韩蕊莲,李丽霞,梁宗锁. 干旱胁迫下沙棘叶片细胞膜透性与渗透调节物质研究. [J]. 西北植物学报,2003,23(1):23-27.

[3] Dominique Desclaux, Pierre Roumet. Impact of drought stress on the phenology of two soybean (*Glycine max* L. Merr) cultivars[J]. Field Crops Research,1996,46:61-70.

[4] Sio-Se Mardeh A,Ahmadi A, Poustini K,*et al.* Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions [J]. Field Crops Research, 2006,98:222-229.

[5] Artemios M. Bosabalidis, George Kofidis. Comparative effects of drought stress on leaf anatomy of two olive cultivars[J]. Plant Science,2002,163:375-379.

[6] 蒋明义,郭绍川. 水分亏缺诱导的氧化胁迫和植物的抗氧化作用[J]. 植物生理学通讯,1996,32(2):144-150.

[7] 任庆成,杨铁钊,刘培玉,等. 植物抗旱性研究进展[J]. 中国农学通报,2009,25(15):76-79.

[8] 史燕山,骆建霞,王 煦,等. 5 种草本地被植物抗旱性研究. [J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2005,33(5):130-134.

[9] 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.

[10] 张 智,夏宜平,常 乐,等. 3 种观赏草在自然失水胁迫下的生理变化与耐旱性关系[J]. 东北林业大学学报,2007,35(12):17-20.

[11] 骆建霞,史燕山,曹鸿斌,等. 水分胁迫对蔓生紫薇和亮叶

忍冬生长及生理特性的影响[J]. 园艺学报,2006,33(3):657-659.

[12] 董 明,苏德荣,刘泽良,等. 干旱胁迫对阿诺红鞑艮忍冬生理指标的影响[J]. 西北林学院学报,2008,23(4):8-13.

[13] 孙 群,胡景江. 植物生理学研究技术[M]. 陕西杨凌:西北农林科技大学出版社,2006.

[14] 高俊凤. 植物生理学实验技术[M]. 西安:世界图书出版公司,2000.

[15] 萧浪涛,王三根. 植物生理学[M]. 北京:中国农业出版社,2004.

[16] 李吉跃. 植物耐旱性及其机理 [J]. 北京林业大学学报,1991,13(3):92-97.

[17] 黎 裕. 作物抗旱鉴定方法与指标[J]. 干旱地区农业研究,1993,11(1):91-99.

[18] B Efeolu a, Y Ekmeki b, N Oiek. Physiological responses of three maize cultivars to drought stress and recovery [J]. South African Journal of Botany,2009,75:34-42.

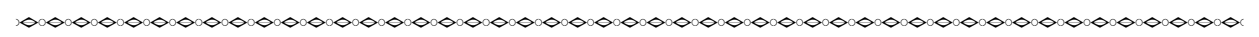
[19] Seel W E, Hendry G A F, Lee J E. Effects of desiccation on some activated oxygen processing enzymes and antioxidants in mosses [J]. J Exp Bot,1992,43:1031-1037.

[20] 谢贤健,兰代萍,白景文. 三种野生岩生草本植物的抗旱性综合评价[J]. 草业学报,2009,18(4):75-80.

[21] 杨 俊,马 健,王婷婷,等. 5 种荒漠植物抗旱性及其与抗旱指标相关性的定量评价[J]. 干旱区资源与环境,2009,23(6):143-146.

[22] 朱永波,张仁和,卜令铎,等. 玉米苗期抗旱性鉴定指标的研究[J]. 西北农业学报,2008,17(3):143-146.

[23] 刘遵春,包东娥,单长卷. 水分胁迫下白菜光合特性和抗旱性关系的研究[J]. 西北农业学报,2008,17(3):263-266.



(上接第 136 页)

[12] 于淑池,张利平,王立安. 拮抗细菌作为生物防治手段研究进展[J]. 河北农业科学,2004,8(1):63-65.

[13] 辛中尧,陈秀蓉. 枯草芽孢杆菌 B1、B2 抗菌活性物质研究及其防病促生田间试验[J]. 甘肃农业大学学报,2005(12):157-159.

[14] 林 伟,黎起秦,彭好文,等. 拮抗菌防治西瓜枯萎病的试验[J]. 广西农业生物科学,2002(21):4-6.

[15] 范秀容,李广武. 微生物学试验[M]. 北京:高等教育出版社,2002:236-242.

[16] 鲁素云. 植物病害生物防治学[M]. 北京:农业出版社,1993.

[17] 王 静,赵廷昌,孔凡玉,等. 枯草芽孢杆菌 SH7 抑菌物质及其特性[J]. 植物保护学报,2007,34(4):443-444.

[18] 孔 建,赵白鸽,王文夕. 枯草芽孢杆菌抗菌物质对镰刀菌抑制机理的镜下研究[J]. 植物病理学报,1998,28(4):337-340.

[19] Raupach G S, Kloepper J W. Mixtures of Plant Growth-

Promoting Rhizobacteria Enhance Biological Control of Multiple Cucumber Pathogens [J]. Physiopathology, 1998,88:1 158-1 164.

[20] Orie Asaka, Makoto Shoda. Bio control of Rhizoctonia Solana Damping 2 of Tomato with *Bacillus subtilis* RB14 [J]. Applied and Environmental Microbiology, 1996, 62: 4 081-4 085.

[21] 孙 卉,师俊玲,杨保伟. 枯草芽孢杆菌 BS-421 发酵液对扩展青霉的抑菌特性[J]. 西北农业学报,2009,18(5):98-104.

[22] 吴 艳,闫豫君,赵思峰,等. 组合芽孢杆菌抑菌物质特性及其抑菌效果研究[J]. 西北农业学报,2007,16(5):266-270.

[23] Cook R J, Baker K F. The Nature And Practice Of Biological Control of Plant Pathogens [M]. USA: American Phytopathological Society, 1983:539.

[24] Collins D P, Jacobsen B J. Optimizing a *Bacillus subtilis* isolate for biological control of sugar beet cercospora leaf spot[J]. Biological Control, 2003 (26):153-161.