

周 军, 武金翠, 杜宝明, 等. 4 种藤本植物的抗旱性比较[J]. 江苏农业学报, 2016, 32(3): 674-679.  
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2016.03.029

## 4 种藤本植物的抗旱性比较

周 军<sup>1</sup>, 武金翠<sup>1</sup>, 杜宝明<sup>2</sup>, 李彭丽<sup>2</sup>

(1. 苏州农业职业技术学院, 江苏 苏州 215008; 2. 上海交通大学, 上海 200240)

**摘要:** 以 4 种藤本植物的 2 年生实生苗为材料, 采用盆栽试验方法, 观测 4 种藤本植物的生长指标及形态特征, 测定干旱胁迫对 4 种藤本植物叶片相关生理生化指标的影响。结果表明, 干旱胁迫下, 美国凌霄的细胞膜透性和丙二醛含量增加最快, 常春藤的脯氨酸含量增加最快; 随着干旱时间持续, 美国凌霄的超氧化物歧化酶(SOD)活性持续下降, 常春藤的 SOD 活性变化较平缓, 花叶络石和黄金络石的各指标变化趋势都居于中间。模糊数学隶属函数法综合评价, 4 种藤本植物抗旱能力大小顺序为常春藤>黄金络石>花叶络石>美国凌霄。

**关键词:** 藤本植物; 抗旱性; 生长指标; 形态特征; 生理生化指标

**中图分类号:** S687.3      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-4440(2016)03-0674-06

## A comparative study on drought resistances of four species of lianas

ZHOU Jun<sup>1</sup>, WU Jin-cui<sup>1</sup>, DU Bao-ming<sup>2</sup>, Li Peng-li<sup>2</sup>

(1. Suzhou Polytechnic Institute of Agriculture, Suzhou 215008, China; 2. Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China)

**Abstract:** Pot experiment was conducted on four species of 2-years-old lianas, the growth indices and morphological characteristics were measured and their physiological and biochemical performances were determined under drought stress. In response to drought stress, the cell membrane permeability and the content of malondialdehyde (MDA) in *Campsis radicans* and the content of proline in *Hedera nepalensis* increased the fastest. As drought lasted, the superoxide dismutase (SOD) activity in *C. radicans* continued to decline, and changed gently in *H. nepalensis*. The assessment of drought resistances by a fuzzy membership function method revealed that the drought resistances in four species of lianas followed the order of *H. nepalensis* > *Trachelospermum asiaticum* > *T. jasminoides* > *C. radicans*.

**Key words:** lianas; drought resistance; growth indicator; morphological characteristic; physiological and biochemical index

藤本植物根系发达, 具有特殊的吸附缠绕器官, 生长迅速, 枝叶繁茂, 抗逆性强, 在城市立体绿化及边坡植被恢复中广泛应用。目前, 对于藤本植物的研究大多集中在植物的耐阴性或者局限于单种植物的抗旱生理指标研究<sup>[1-2]</sup>, 对于不同藤本植物的抗旱性比较研究相对较少。近年来, 土地资源紧张, 干

旱缺水严重等现象依然是中国很多城市生态环境建设中的主要限制因子, 因此, 开展藤本植物抗旱性和筛选研究, 对开展节水型绿化, 构建节约型园林具有重要意义。

苏州素有“江南水乡”之美称, 但水质性缺水也是苏州城市绿化发展面临的一个严重问题, 发展“节水型立体绿化”非常必要。本研究选择苏州地区立体绿化中常见的 4 种藤本植物进行干旱胁迫试验, 通过生长指标、形态特征及生理生化指标的测定分析, 综合比较其抗旱能力, 探讨影响植物抗旱性能

收稿日期: 2015-09-08

基金项目: 苏州市园林与绿化管理局科技发展项目(20130003)

作者简介: 周 军(1974-), 男, 安徽巢湖人, 硕士, 副教授, 研究领域为风景园林。(Tel)13606212975

的机理,以期为苏州城市节水型立体绿化植物选择及应用提供理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

供试藤本植物为美国凌霄 (*Campsis radicans*)、花叶络石 (*Trachelospermum jasminoides*)、黄金络石 (*Trachelospermum asiaticum*)、常春藤 (*Hedera nepalensis*) 2 年生实生苗。

### 1.2 方法

将 4 种苗木种植于口径 12 cm、高 15 cm 的花盆 (盆底有孔,以免积水) 中,盆土为田园土与花卉专用肥按照 2:1 (体积比) 的混合土,每盆土量一致,进行统一的水肥管理。2 个月后,选择生长量相对一致的苗木进行自然干旱胁迫试验。试验前连续浇水 2 d,使盆土充分吸水达到饱和,接着停止供水,进行自然干旱胁迫,并于不同的胁迫时间进行取样,胁迫时间分别设置为 0 d、4 d、8 d、12 d、16 d,每种植物设 3 个重复,每个重复 5 盆,共 60 盆。取样时间为早上 8:00–8:30,取样部位为植株中上部叶片,以开始胁迫的第 1 d 为对照。

### 1.3 指标测定

**1.3.1 基质相对含水量测定** 基质相对含水量 (RWC) 用土壤水分速测仪 TDR200 测定,测定时间与取样同时。在每个花盆边缘测 1 个点,每种植物共测 15 个点,去除偏差较大的点。

**1.3.2 植物生长指标及形态指标观测** 取样的同时用卷尺及游标卡尺测定每种植物的生长指标,并观测每种植物的形态特征。

**1.3.3 生理生化指标测定** 测定的生理生化指标主要有:相对电导率 (REC)、超氧化物歧化酶 (SOD) 活性、丙二醛 (MDA) 含量、脯氨酸 (Pro) 含量等指标。相对电导率的测定采用 FE30 型电导率仪<sup>[3]</sup>;SOD 活性的测定采用氮蓝四唑 (NBT) 还原法,具体步骤参照 Giannopolitics 等<sup>[4]</sup>的方法;MDA 含量的测定采用硫代巴比妥酸法,具体步骤参照 Heath 等<sup>[5]</sup>的方法;游离脯氨酸含量测定采用茚三酮比色法<sup>[6]</sup>。用于 SOD 酶活性、MDA 含量及 Pro 含量测定的叶片,取样后用液氮快速冷冻,然后置于 -80 ℃ 冰箱中保存。

### 1.4 数据统计

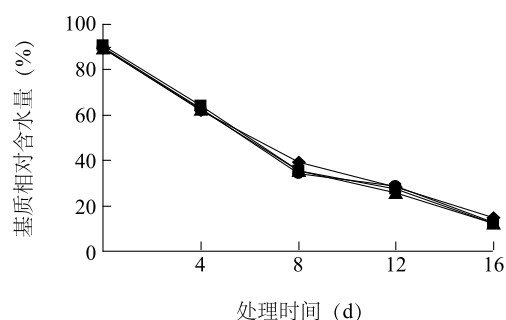
数据采用 SAS9.1.2 软件以及 EXCEL2007 对试

验结果进行统计分析及图表绘制。采用模糊数学隶属函数或反隶属函数计算公式综合评价 4 种植物的抗旱性,隶属函数值的计算方法<sup>[7]</sup>如下:如果指标与抗旱性成正相关,则  $X(\mu) = (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$ ;如果指标与抗旱性成负相关,则  $X(\mu) = 1 - (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$ 。上式中, $X(\mu)$  为隶属函数值, $X$  为干旱胁迫前后植物某指标测定值的比值, $X_{\min}$ 、 $X_{\max}$  分别为所有参试植物某一指标  $X$  值的最小值和最大值。按照隶属函数值的计算公式分别计算 4 种藤本植物各指标的隶属函数值,并对各指标的隶属函数值求和,根据求和值的大小排序。

## 2 结果与分析

### 2.1 干旱胁迫对基质相对含水量的影响

土壤基质提供了植物生长所需的各种营养元素,是植物生存的基础。由图 1 可知,干旱胁迫初期,基质相对含水量下降比较明显,干旱胁迫前 4 d 基质相对含水量在 60%~80%,比较适宜植物的生长;干旱胁迫 8 d,基质相对含水量下降到 40%,处于轻微干旱;干旱胁迫后期基质相对含水量变化较平缓,干旱胁迫 16 d 时,所有植物的基质相对含水量都小于 20%,处于重度干旱,各植物基质之间的变化趋势差异不明显。



—▲— 美国凌霄; —●— 花叶络石; —■— 黄金络石; —◆— 常春藤

图 1 干旱胁迫下基质相对含水量的变化

Fig.1 The changes of relative water content in the substrate

### 2.2 干旱胁迫下植物生长指标的变化

干旱胁迫对植物生长的影响往往可以直观地从株高、叶片数量等生长指标上体现出来。由表 1 可以看出,干旱胁迫下,4 种植物的生长受到了不同程度的抑制。其中,干旱对美国凌霄的影响最为显著,在胁迫 8 d 后植株停止生长,叶片也逐渐

枯萎,干旱 12 d 后叶片已经全部枯落;花叶络石和黄金络石生长缓慢,常春藤生长指标变化相对较平缓,一直持续生长,表明干旱胁迫对其影响相对较小。

干旱胁迫处理后植株高度的方差分析结果(表 2)显示,干旱胁迫下,4 种植物的生长差异达到极显著水平,但是干旱胁迫时间对植物生长的影响并不显著,可能是观测时间 16 d 不够长的原因。

表 2 干旱胁迫处理后植株高度变化的方差分析

Table 2 Variance analysis of plant height in response to drought stress

变异来源	平方和	自由度	均方	F 值	显著水平
不同植物间	225.71	3	75.24	175.00	<0.000 1
不同干旱时间间	5.28	4	1.32	0.09	0.98
总变异	232.58	19			

### 2.3 干旱胁迫下藤本植物形态特征的变化

在干旱胁迫下,植物受到的伤害会通过其外部形态特征表现出来。本试验中,不同藤本植物对干旱胁迫的反应不同,美国凌霄形态变化最为明显,而常春藤则没有较大变化(表 3)。有研究表明,有的作物是以叶片萎蔫下垂、卷曲等方式来适应水分胁迫,从而使其蒸腾减少 50% 左右<sup>[8]</sup>。本试验中,花叶络石和黄金络石就是通过这种方式来适应

表 1 干旱胁迫对植株高度的影响

Table 1 Effects of drought stress on plant height

植物	株高(cm)				
	干旱胁迫 0 d	干旱胁迫 4 d	干旱胁迫 8 d	干旱胁迫 12 d	干旱胁迫 16 d
美国凌霄	15.28	16.3	16.4	16.43	16.43
花叶络石	6.30	7.15	7.38	7.39	7.39
黄金络石	8.75	8.85	9.43	9.50	9.50
常春藤	9.93	10.83	11.58	12.38	12.38

干旱,而且这 2 种植物对干旱胁迫的反应差别不大,表明这两种植物的抗旱性能较接近。

生理指标测定取样结束之后又对植株进行了观察,发现常春藤在干旱胁迫 20 d 后仅叶色变浅,并未出现枯萎现象。从形态特征的观察比较中可以看出,这 4 种植物中,常春藤的抗旱性能最强,花叶络石、黄金络石的抗旱性次之,而美国凌霄抗旱性能相对最弱。

表 3 藤本植物在干旱胁迫下的形态特征

Table 3 Morphological characters of lianas in response to drought stress

植物名称	形态特征			
	干旱胁迫 4 d	干旱胁迫 8 d	干旱胁迫 12 d	干旱胁迫 16 d
美国凌霄	无显著变化	10% 叶片发黄	80% 叶片枯黄,枝尖死亡	90% 以上的叶片枯萎
花叶络石	无变化	无变化	5% 叶片叶色变红	20% 的叶片叶色变红,下垂
黄金络石	无变化	无变化	5% 叶片出现下垂现象	20% 叶片卷曲,下垂
常春藤	无变化	无变化	无显著变化	10% 叶片叶色变浅绿

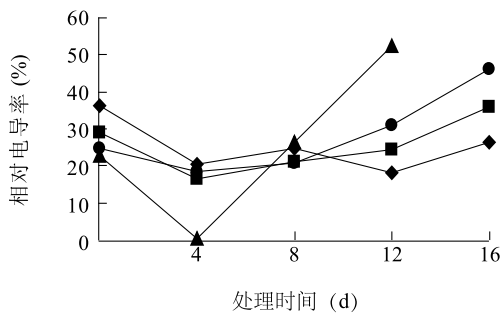
### 2.4 干旱胁迫下藤本植物生理生化指标的变化

植物抗旱性研究直观的方法是观察植物的外部形态变化,这种方法简单、直接、明了,但不能从本质上去解释植物抗旱的原因,因此,本研究选取与植物抗逆性相关的 4 个生理生化指标进行测定,综合比较其抗旱性。在试验过程中,由于美国凌霄在干旱处理 16 d 时 90% 的叶片已经枯落,所以,其生理指标测定的取样只进行到干旱胁迫 12 d,其他植物的取样持续到干旱胁迫 16 d。

#### 2.4.1 干旱胁迫对叶片相对电导率(REC)的影响

植物细胞膜对维持细胞的微环境和正常代谢起着重要的作用。正常情况下,细胞膜对物质具有选择透性能力,当植物受到逆境影响时,细胞膜遭到破坏,膜透性增大,从而使细胞内的电解质外渗,以致植物细胞浸提液的电导率增大<sup>[9]</sup>。因此,可以根据植物细胞浸提液的电导率变化来判断植物受伤害程度以及抗性大小,电导率越大,变化越显著,说明植物的抗性越弱。

图 2 为干旱处理期间 4 种植物叶片相对电导率的变化趋势,可以看出,随着干旱处理时间的延长,4 种植物叶片的细胞膜透性总体上都有不同程度的升高,但变化幅度有所差异。干旱的前 4 d,4 种植物的相对电导率先出现不同程度的下降,其中美国凌霄的下降幅度较大;干旱处理 4 d 之后,又出现不同程度的增加。干旱 12 d 美国凌霄的相对电导率达到高峰 52.5%,从变化趋势可以看出美国凌霄对干旱胁迫比较敏感。其他植物的相对电导率在干旱胁迫后增长幅度一直较小,花叶络石的相对电导率比黄金络石的相对电导率稍高,增长幅度也稍微大一些;常春藤的相对电导率在整个干旱胁迫期间变化不大,受干旱胁迫的影响较小。说明干旱胁迫对美国凌霄的伤害最大,其次是花叶络石、黄金络石,而对常春藤的伤害最小。由相对电导率变化判断,4 种藤本植物的抗旱性大小顺序为:美国凌霄<花叶络石<黄金络石<常春藤。



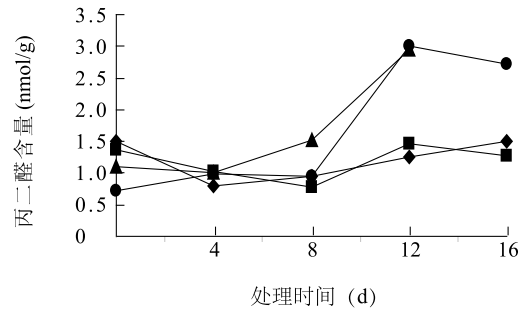
—▲— 美国凌霄; —●— 花叶络石; —■— 黄金络石; —◆— 常春藤

图 2 干旱胁迫下藤本植物叶片相对电导率的变化

Fig.2 The changes of relative electrolytic conductivity of lianas leaves under drought stress

2.4.2 干旱胁迫对叶片丙二醛含量的影响 丙二醛(MDA)含量的变化是质膜损伤程度的重要标志之一,含量越大,说明细胞膜被破坏的程度越严重<sup>[10]</sup>。由图 3 可以看出,4 种植物 MDA 含量变化趋势与相对电导率变化趋势相似。随着干旱胁迫的进行,美国凌霄的 MDA 含量显著增加,在干旱胁迫 12 d 时即达到最大值,干旱胁迫 16 d 后植株叶片基本枯萎,说明受干旱胁迫的影响显著;干旱胁迫 12 d 时,花叶络石 MDA 含量稍微低于美国凌霄,干旱胁迫 12 d 之后 MDA 含量虽然有所下降,但依然显著高于其他 2 种植物;整个干旱胁迫期间,黄金络石的 MDA 含量与常春藤的 MDA 含量相差不大。由

MDA 含量变化判断,4 种藤本植物的抗旱能力顺序为:美国凌霄<花叶络石<黄金络石<常春藤。



—▲— 美国凌霄; —●— 花叶络石; —■— 黄金络石; —◆— 常春藤

图 3 干旱胁迫下藤本植物叶片丙二醛含量的变化

Fig.3 The changes of MDA contents in lianas leaves in response to drought stress

2.4.3 干旱胁迫对叶片脯氨酸含量的影响 脯氨酸(Pro)是植物体内主要的渗透调节物质,当植物受到逆境胁迫时,体内 Pro 含量会显著增加,所以 Pro 含量的高低是植物抗逆性强弱的指标之一<sup>[6]</sup>。试验中,4 种藤本植物的 Pro 含量随着干旱胁迫时间增加逐渐增加,说明 4 种藤本植物对干旱胁迫都产生了适应性反应。如图 4 所示,随着干旱处理时间的持续,黄金络石和花叶络石体内 Pro 含量增加比较平稳,干旱胁迫试验结束时 Pro 含量比试验开始时分别增加了 4.65 倍和 2.75 倍;美国凌霄的 Pro 含量增加幅度较小,为 1.11 倍;常春藤 Pro 含量增加幅度最为显著,干旱胁迫 16 d 时其体内 Pro 含量增长了 9.49 倍,说明随着干旱胁迫的持续,常春藤体内积累了更多的 Pro,以增强其抗旱能力。由 Pro 含量变化判断,4 种藤本植物的抗旱能力顺序为:美国凌霄<花叶络石<黄金络石<常春藤。

2.4.4 干旱胁迫对叶片 SOD 活性的影响 SOD 是植物对膜脂过氧化的酶促防御体系中的一种重要保护酶,其主要功能是清除生物体内超氧离子基团,防止活性氧或其他过氧化物自由基对细胞膜的伤害<sup>[11]</sup>。当植物受干旱胁迫后,SOD 活性会有不同程度的变化,轻度干旱胁迫后 SOD 活性会增加,重度干旱胁迫后 SOD 活性会急剧下降。如图 5 所示,4 种藤本植物 SOD 活性变化趋势以及变化幅度不同。常春藤在干旱胁迫前 8 d SOD 活性比较稳定,8 d 之后有所上升,12 d 之后又出现下降趋势,总体变化

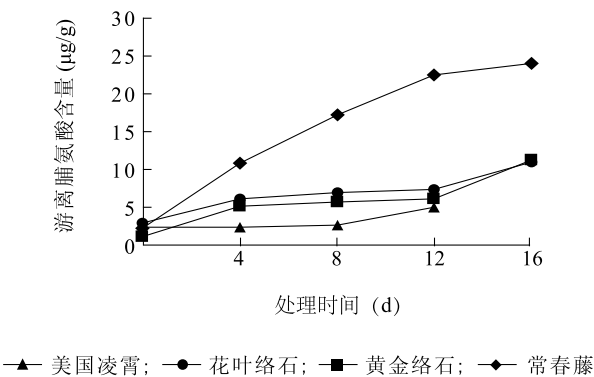


图 4 干旱胁迫下藤本植物叶片脯氨酸含量的变化  
Fig.4 The changes of proline contents in lianas leaves in response to drought stress

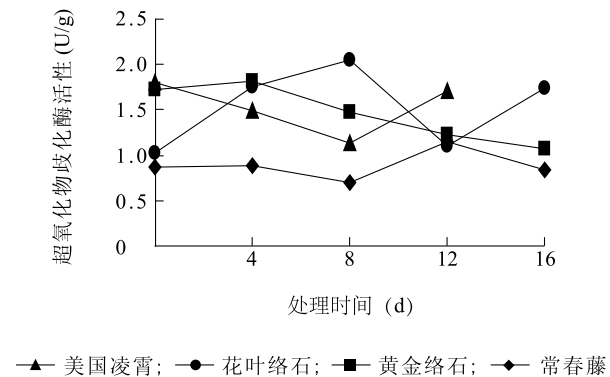


图 5 干旱胁迫下藤本植物叶片超氧化物歧化酶活性的变化  
Fig.5 The changes of SOD activities in lianas leaves in response to drought stress

趋势较平缓,对干旱胁迫的反应不显著。黄金络石 SOD 活性在干旱胁迫的前 4 d 呈上升趋势,4 d 之后开始直线下降;而花叶络石 SOD 活性在干旱胁迫 8 d 后才出现下降趋势,且 12 d 之后又上升,说明花叶络石与黄金络石在对干旱胁迫的适应上略有不同,形态特征观测结果也表明,在干旱胁迫 12 d 后花叶络石仅有部分叶片变为红色,而黄金络石则部分叶片萎蔫。美国凌霄在干旱胁迫前 8 d, SOD 活性处于一直下降的趋势,8 d 后有一定程度的升高,到 12 d 胁迫试验结束时依然小于开始干旱胁迫第 1 d,说明美国凌霄对干旱胁迫的适应性较小。从 SOD 活性大小判断,4 种藤本植物的抗旱能力顺序为:美国凌霄<花叶络石<黄金络石<常春藤。

**2.5 4 种藤本植物抗旱性综合评价**  
植物的抗旱性是受形态和生理生化等多种特性控制的复合遗传性状,植物通过多种途径抵御或忍耐干旱胁迫,因此只有应用多种参数进行综合评价才能较好地反映植物的抗旱特性<sup>[10,12-13]</sup>。本试验除对植物生长指标以及形态特征进行观测外,还选择 4 种生理生化指标(相对电导率、丙二醛、脯氨酸、SOD 酶活性)来综合评价植物的耐旱能力,以得到比较客观的结果。按照隶属函数值的计算公式分别计算 4 种藤本植物各指标的隶属函数值,结果(表 4)显示 4 种藤本植物抗旱能力的大小顺序为常春藤>黄金络石>花叶络石>美国凌霄。

表 4 4 种藤本植物的隶属函数值及求和值排序  
Table 4 Subordinate function values and sorting order of four species of lianas

藤本植物	X(1)	X(2)	X(3)	X(4)	Σ (Xi)	排序
常春藤	8.084	1.439	0.223	1.193	10.939	1
黄金络石	5.869	1.533	0.283	1.997	9.682	2
花叶络石	5.858	1.462	0.254	0.797	8.371	3
美国凌霄	1.534	0.889	0.252	1.236	3.911	4

表中 X(1)、X(2)、X(3)、X(4) 分别代表 4 个指标(相对电导率、SOD 活性、MDA 含量、Pro 含量)的隶属函数值。

3 讨论

植物在生长过程中,受到干旱胁迫时体内代谢发生变化,其生长状况必然会发生变化,因此植株的生长量与生长状况是确定其耐旱能力的重要指标<sup>[14]</sup>。当植物受到干旱胁迫时,其根系活力明显降低,生长受到抑制,甚至停止生长<sup>[15-16]</sup>。本试验结

果表明,干旱胁迫下,4 种藤本植物生长指标及形态特征都有非常显著的变化。在干旱胁迫的前 8 d,也即轻微干旱下,4 种藤本植物的植株生长状况和形态特征都与对照无显著差异,说明 4 种藤本植物对干旱胁迫都有一定的适应性;但干旱胁迫 8 d 之后,土壤基质达到中等干旱时,美国凌霄停止生长,形态上也有明显变化,黄金络石和花叶络石植株增长量

虽然很小,但形态上与对照没有差异,而常春藤的生长指标及形态特征都没有明显变化,直到干旱胁迫16 d,当基质达到重度干旱时,才出现叶片颜色变浅的现象,总体上比其他3种藤本植物的抗旱性强。

MDA 是膜脂过氧化作用的产物之一,其含量是反映膜损伤程度的公认指标<sup>[17-19]</sup>。本试验中,随着干旱胁迫处理时间的持续,4种藤本植物的相对电导率以及 MDA 含量都不同程度地升高,说明这4种藤本植物对干旱胁迫都具有一定的抵御能力。

植物受到环境胁迫时,体内游离 Pro 含量增加,在植物的渗透调节中起重要作用<sup>[20-21]</sup>,但对于 Pro 含量能否作为植物抗逆性指标至今依然有不同意见。本试验中,干旱胁迫下,四种藤本植物的 Pro 含量都有不同程度的增加,干旱16 d时常春藤的 Pro 含量比干旱胁迫前增加了9.49倍,显示出较强的抗旱能力。

SOD 活性也是与植物抗逆性相关的一个指标。SOD 活性在轻度逆境胁迫下会有所增加,中度胁迫和重度胁迫下会下降<sup>[17,22]</sup>。本试验中,随着胁迫的持续,土壤基质含水量逐渐下降,常春藤在干旱胁迫的前8 d SOD 活性都比较稳定,8 d之后有所上升,12 d之后又出现下降趋势;花叶络石和黄金络石的 SOD 活性在干旱胁迫过程中出现先上升后下降然后又上升的趋势,都表现出较强的抗旱性;美国凌霄 SOD 活性总体上呈下降趋势,说明其对干旱的适应性较差,这些与前人的研究结论<sup>[17]</sup>基本一致。

采用模糊数学隶属函数法对4种藤本植物的抗旱能力进行综合评价,结果表明抗旱能力大小顺序为常春藤>花叶络石>黄金络石>美国凌霄。

#### 参考文献:

- [1] 王 雁,马武昌. 扶芳藤、紫藤等7种藤本植物光能利用特性及耐阴性比较研究[J]. 林业科学研究, 2004, 17(3): 305-309.
- [2] 赵和文,崔金腾,王 杰,等. 干旱胁迫对常春藤响应的生理生化机制[J]. 中国农学通报, 2013, 29(7): 12-19.
- [3] DA COSTA M, WANG Z L, HUANG B R. Physiological adaptation of Kentucky bluegrass to localized soil drying[J]. Crop Science, 2004, 44(4): 1307-1314.
- [4] GIANNOPOLITIS C N, RIES S K. Superoxide dismutases: I. Occurrence in higher plants[J]. Plant Physiology, 1977, 59(2): 309-314.
- [5] HEATH R L, PACKER L. Photo peroxidation in isolated chloroplasts: I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation[J]. Archives of Biochemistry and Biophysics, 1968, 125(1): 189-198.
- [6] 邹 琦. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003: 161-162.
- [7] 王彩华,宋连天. 模糊论方法学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1996: 210-234.
- [8] 胡海荣. 农作物抗旱鉴定方法和指标[J]. 作物品种资源, 1986(4): 36-39.
- [9] 郑炳松. 现代植物生理生化研究技术[M]. 北京: 气象出版社, 2006: 264-265.
- [10] 王 瑛. 5种园林植物的抗旱性比较研究[J]. 上海农业学报, 2013, 29(4): 31-35.
- [11] 姜慧芳,任小平. 干旱胁迫对花生叶片 SOD 活性和蛋白质的影响[J]. 作物学报, 2004, 30(2): 169-174.
- [12] 李吉跃. 太行山区主要造林树种耐旱特性的研究[J]. 北京林业大学学报, 1991, 13(增2): 230-279.
- [13] 冯玉龙,姜淑梅. 番茄对高温引起的叶片水分胁迫的适应[J]. 生态学报, 2001, 21(5): 747-750.
- [14] 申亚梅,童再康. 植物抗旱机制的研究进展[J]. 安徽农业科学, 2006, 34(20): 5214-5215, 5238.
- [15] 孙存华,白 嵩,白宝璋,等. 水分胁迫对小麦幼苗根系生长和生理状态的影响[J]. 吉林农业大学学报, 2003, 25(3): 485-489.
- [16] 米海莉,许 兴,李树华,等. 干旱胁迫下牛心朴子幼苗的抗旱生理反应和适应性调节机理[J]. 干旱地区农业研究, 2002, 20(4): 11-16.
- [17] 范苏鲁,苑兆和. 干旱胁迫对大丽花生理生化指标的影响[J]. 应用生态学报, 2011, 22(3): 651-657.
- [18] 刘晓霞,邹成林,李训碧,等. 壳寡糖对干旱胁迫下甘蔗叶片生理指标的影响[J]. 南方农业学报, 2014, 45(10): 1759-1763.
- [19] HODGES D M, DELONG J M, FOMEY C F, et al. Improving the thiobarbituric acid-reactive-substances assay for estimating lipid peroxidation in plant tissues containing anthocyanin and other interfering compounds[J]. Planta, 1999, 207: 604-611.
- [20] 谢美华,罗中泽,李 霖,等. 干旱胁迫对不同玉米品种幼苗生理特性的影响[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(1): 58-60.
- [21] 艾育芳,陈观水,钟陈菲,等. 干旱胁迫对巨菌草幼苗水分状况和渗透调节物质的影响[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(5): 344-347.
- [22] 张永福,黄鹤平,银立新,等. 冷(热)激对干旱胁迫下玉米活性氧清除及膜脂过氧化的调控机制[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(5): 56-60.

(责任编辑:张震林)