

华南地区5种边坡绿化植物的抗旱性研究*

Drought Resistance of 5 Species of Slope Greening Plants in South China

许建新 傅卫民* 张杰
XU Jian-xin, FU Wei-min*, ZHANG Jie

摘要: 以5种边坡绿化植物为研究对象,通过盆栽控水试验,观测其形态指标和叶片相对含水量、相对电导率、丙二醛、脯氨酸等生理生化指标含量变化,利用多指标综合评价的隶属函数值法进行抗旱性综合评价。5种植物的抗旱性表现从强到弱依次为软枝黄蝉 *Allamanda cathartica*、长隔木 *Hamelia patens*、粉花夹竹桃 *Nerium oleander* ‘Nanum’、地果 *Ficus tikoua*、冬红 *Holmskioldia sanguinea*。建议以5种植物的抗旱性、生长特性和景观价值为依据,进行边坡绿化植物配置和养护管理。

关键词: 边坡绿化; 干旱胁迫; 抗旱性; 生理生化指标

中图分类号: Q945.7

文献标志码: A

文章编号: 1671-2641 (2023) 03-0085-05

收稿日期: 2022-07-23

修回日期: 2022-08-31

Abstract: This study focuses on drought resistances of 5 species of slope greening plants used in South China. The effects of water stress on physiological and biochemical indexes, such as morphological changes, leaf relative water content, relative electric conductivity, malondialdehyde content (MDA) and proline content (Pro) are investigated through water-controlled experiments. Subordinate function value method is used to evaluate drought resistances of 5 studied plants base on above measured indexes. The results show that the order of drought resistance of 5 studied plants from strong to weak is *Allamanda cathartica*, *Hamelia patens*, *Nerium oleander* ‘Nanum’, *Ficus tikoua* and *Holmskioldia sanguinea*. Depending on research results, the study suggests that drought resistance, growth characteristics and landscape value of 5 studied plants should all be considered in plant disposition and maintenance management of slope greening.

Key words: Slope greening; Drought stress; Drought resistance; Physiological and biochemical indexes

随着我国经济的高速发展,高速公路等基础设施建设快速发展。而高速公路建设必然造成大面积的边坡裸露。在深圳市2010年前建设的长达6 041 km公路中,道路边坡破坏面积约180 km²,其中山体边坡约36 km²[1]。因此,恢复和重建公路边坡的植被生态是生态文明建设的重要内容,也是一项永久的民生工程。

近30年来,国际边坡绿化技术创新和实践发展迅速。日本、美国、澳大利亚等国家已开展新型生态护坡材料研发,包括厚层基材、高分子聚合物、多孔混凝土基质等[2-3];同时在边坡植被稳定性方面进行了根系固土特性分析等[4-5],为边坡生态修复

技术的发展奠定基础。20世纪80年代以来,我国边坡绿化理论和技术实践研究呈现多元化,更具地域特色,朝着更具观赏性、提升生物多样性的方向发展[6]。构建灌木和草本植物组合的群落类型已经成为边坡绿化可持续发展的关键技术[1]。边坡植物选择和配置需要综合考虑植物的抗旱性、观赏性和水土保持功能等,以及浅根植物和深根植物、豆科植物与非豆科植物、景观植物与非景观植物的配合。选用合适的灌木种类较为关键[7]。总之,未来边坡生态建设通过突出科学性、实用性与观赏性的结合,营造生物多样性高、生态景观价值高、可持续发展性强的植物群落。

根据袁银等[8]对深圳生态修

复裸露边坡的植物群落调查发现,边坡上生长的植物主要有台湾相思 *Acacia confusa*、银合欢 *Leucaena leucocephala*、光荚含羞草 *Mimosa bimucronata*、白灰毛豆 *Tephrosia candida*、马缨丹 *Lantana camara*、猪屎豆 *Crotalaria pallida*、叶子花 *Bougainvillea spectabilis*、朱槿 *Hibiscus rosa-sinensis*、类芦 *Neyraudia reynaudiana*、异叶地锦 *Parthenocissus dalzielii*等。可见,前期边坡绿化中应用的植物多偏向固土能力和抗逆性强的种类,甚至有入侵物种存在,对植物景观效果关注较少。而近年来,国家在建设“美丽公路”的过程中需要用到兼具水土保持和观赏等功能的优良植物种类。因

*基金项目: 校园边坡稳定性及其生态景观构建研究(2011002)

此,本次试验拟选择耐旱性和观赏性强的灌木、匍匐性藤本植物作为研究对象,通过观测其生理活动对水分的响应,综合评价它们对于旱胁迫的适应能力,为它们在边坡绿化中配置应用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

根据植物的生长特性和观赏特性,本次试验选择软枝黄蝉、地果、长隔木、冬红和粉花夹竹桃5种植物作为研究对象(表1)。

1.2 研究方法

盆栽控水试验于2021年6月在深圳技师学院温室内进行。试验前4个月,选取每种植物中株高和地径比较一致的苗,移栽种植到统一规格的种植盆(盆口径17 cm,盆高12 cm)中,每种植物100盆,合计500盆。种植基质为种植土、泥炭土、有机肥按5:2:1比例混合,每盆基质重3 kg。统一养护4个月后,再从每种植物中各选取株高和地径比较一致的苗进行干旱胁迫处理,每种植物75盆。采用自然干旱法^[9],以干旱时间来控制水分梯度。试验开始后,每隔3 d从5种植物中各取15盆,随机分成3个重复,每个重复5盆,一次性饱和浇水后使其自然干旱,以饱和浇水植株为对照,分别于干旱0d(CK)、3d(T1)、6d(T2)、9d(T3)、12d(T4),观测各处理组的植株形态指标变化情况,并对植株成熟叶片的生理生化指标进行测定。

1.3 指标测定

参照前人研究^[9-10],本次试验选取指标包括叶片的相对含水量、相对电导率、丙二醛(MDA)含量和脯氨酸(Pro)含量,以及植物形态。叶片相对含水量的测定参照饱和含水量法^[11]。叶片相对电导率采用电导法测定^[10]。丙二醛(MDA)、脯氨酸(Pro)含量测定采用南京建成生物工程研究所的检测试剂盒进行测定^[10]。植物形态评价根据植物在胁迫期间的生长

表现,如植株死亡,叶片出现萎蔫、黄化、枯干脱落等,枝条顶端嫩梢出现枯萎、下垂和枯干等,进行综合分级评定^[12](表2)。

1.4 抗旱性综合评价

采用隶属函数法对5种植物的抗旱能力进行综合评价^[9]。隶属函数值具体计算公式为:

$$UU(X_i) = (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}), i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (1)$$

$$\text{或} U(X_i) = 1 - (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}), i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2)$$

式中: X_i 为供试植物各指标平均值, X_{\min} 、 X_{\max} 分别为各供试植物某一指标测定值的最小值和最大值。若所测指标与抗旱性成正相关则用式(1)计算;若所测指标与抗旱性成负相关则用式(2)计算。

通过上述公式先求出5种供试植物各个抗旱指标的隶属函数值,再进行累加求取平均值,根据平均值大小对5种植物抗旱能力进行综合评价。

隶属函数值均值越大,抗旱性越强。

1.5 数据处理

采用SAS8.0软件进行数据统计和方差分析。

2 结果与分析

2.1 干旱胁迫下植物的形态表现

从胁迫12 d的各植物生长表现可看出(表3),总体上软枝黄蝉(P1)、长隔木(P3)和粉花夹竹桃(P5)抗旱表现较好,地果(P2)和冬红(P4)表现较差。在干旱胁迫的第3d,冬红最先出现嫩叶萎蔫;干旱胁迫第6d时,地果和冬红都出现萎蔫,其他3种植物都正常生长;干旱胁迫第9~12 d,只有软枝黄蝉、长隔木仍保持生长基本正常,而其他3种植物出现不同的胁迫现象,地果有较多的叶片萎蔫、下垂,冬红大部分叶片和枝条顶端嫩梢严重萎蔫下垂,但还未出现植株死亡。

表1 试验植物主要特性

植物学名	主要特性	植物编号
软枝黄蝉 <i>Allamanda cathartica</i>	常绿花灌木,在深圳几乎全年可开花	P1
地果 <i>Ficus tikoua</i>	常绿匍匐性地被植物,茎节处生长不定根,固土性强,是优良的水土保持植物	P2
长隔木 <i>Hamelia patens</i>	常绿花灌木,在深圳花期4—11月	P3
冬红 <i>Holmskioldia sanguinea</i>	常绿花灌木,在深圳花期11月—次年2月,是优良鸟类食源植物和观花景观植物	P4
粉花夹竹桃 <i>Nerium oleander</i> 'Nanum'	常绿花灌木,在深圳几乎全年可开花	P5

表2 干旱胁迫下植物形态等级

等级	生长表现
S	植株生长正常,叶片平展、无萎蔫,叶色无变色
A	植株生长基本正常,有少量的嫩叶和枝条顶端嫩梢萎蔫下垂(嫩叶嫩梢萎蔫率≤10%),但叶色正常,老叶全部正常
B	植株生长一般,有较多的嫩叶和枝条顶端嫩梢萎蔫下垂(10%<嫩叶嫩梢萎蔫率≤30%),叶片变黄,少量老叶叶片稍微萎蔫(老叶萎蔫率≤10%)
C	植株生长差,大部分嫩叶和枝条顶端嫩梢严重萎蔫下垂(30%<嫩叶嫩梢萎蔫率≤50%),叶片变黄,较多老叶叶片萎蔫、卷曲和叶片变黄(10%<嫩叶嫩梢萎蔫率≤30%),但无植株死亡
D	植株生长较差,整个植株失水严重,较多嫩叶和枝条顶端嫩梢枯干、叶片脱落(嫩叶嫩梢萎蔫率>60%),大部分老叶出现严重萎蔫、卷曲和叶片变黄(嫩叶嫩梢萎蔫率>30%),甚至出现植株死亡(死亡植株≥1株)

2.2 对叶片相对含水量的影响

结果表明(表4),随着干旱胁迫时间的延长,5种植物的叶片相对含水量变化趋势不同。其中冬红(P4)的表现最为明显,其叶片相对含水量从断水的第3d开始显著下降,第6~9 d降低60%以上,与对照组(CK)之间差异显著($P<0.05$)。而软枝黄蝉(P1)的叶片相对含水量到干旱胁迫第9d才开始明显下降,与对照组相比降低10.73%,差异显著($P<0.05$)。其他3种植物在干旱胁迫前9d内变化不明显($P>0.05$)。在干旱胁迫的第12d时,各植物的叶片相对含水量均明显降低,与对照(CK)相比,软枝黄蝉(P1)、地果(P2)、长隔木(P3)冬红(P4)、粉花夹竹桃(P5)分别下降了14.71%、22.08%、31.60%、73.55%、53.27%,差异都达到显著水平($P<0.05$)。

2.3 对叶片相对电导率的影响

干旱胁迫对5种植物叶片相对电导率影响比较明显(图1),除粉花夹竹桃(P5)的T2、T3处理组比对照组略低外($P>0.05$),各植物的其他各处理组均比对照组的高,尤其是从干旱胁迫第6d开始,各植物的叶片相对电导率均显著增加($P<0.05$),但增幅不同。其中,软枝黄蝉(P1)、长隔木(P3)的叶片电导率在梯度处理间变化较为平缓,粉花夹竹桃(P5)只有在胁迫第12d时急剧增加,地果(P2)、冬红(P4)

表3 干旱胁迫下植物形态表现

植物编号	干旱胁迫时间				
	0d	3d	6d	9d	12d
P1	S	S	S	S	A
P2	S	S	A	B	C
P3	S	S	S	A	A
P4	S	A	B	C	D
P5	S	S	S	A	B

的增幅较大,在干旱胁迫后期(第9~12 d)叶片相对电导率都达到对照组的2倍以上。

2.4 对叶片丙二醛含量的影响

与对照组相比,随着干旱胁迫时间的延长,5种植物的叶片丙二醛含量基本上都明显增加,但变化趋势不同(图2)。其中,软枝黄蝉(P1)和长隔木(P3)的丙二醛含量变化呈递增趋势,地果(P2)的丙二醛含量变化相对比较平缓,T1、T2、T3之间差异不显著($P>0.05$)。冬红(P4)的叶片丙二醛含量在干旱胁迫期间呈现“降-升-降”的变化趋势,在干旱胁迫中期(6~9 d)急剧增加,于第9d达到最高值(227.08 $\mu\text{mol/g}$),是对照组的1.35倍。粉花夹竹桃(P5)

的丙二醛含量变化趋势与冬红(P4)的相反,整体呈“升-降-升”,而且除T2外各处理组的丙二醛含量明显高于对照组,T4处理组达到最高值,为75.69 $\mu\text{mol/g}$,是对照组的1.36倍。

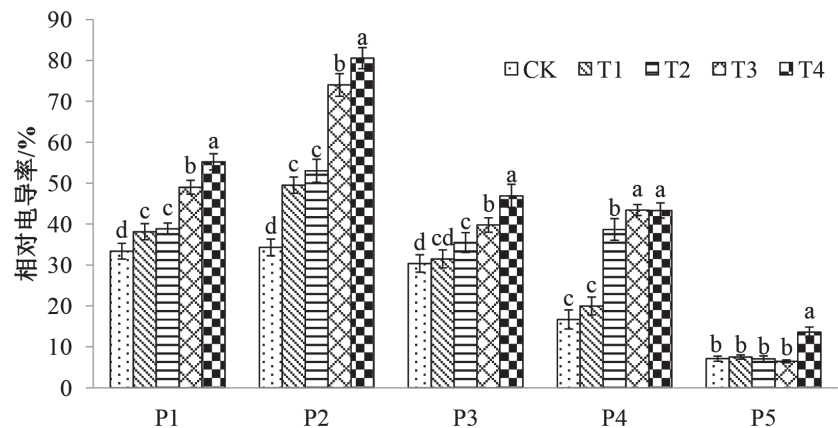
2.5 对叶片脯氨酸含量的影响

在干旱胁迫下,5种植物的叶片脯氨酸含量总体上呈增加趋势(表5)。其中,软枝黄蝉(P1)和冬红(P4)的叶片脯氨酸含量变化趋势相同,随着干旱胁迫时间的延长,各处理组叶片脯氨酸含量都呈明显的递增趋势($P<0.05$),而且与对照组相比,冬红的叶片脯氨酸含量提高了5~27倍,增幅非常大,软枝黄蝉相对较小。地果(P2)受干旱胁迫影响比较明显,各处理组的叶片脯氨酸含量

表4 干旱胁迫下5种植物叶片相对含水量的变化(%)

植物编号	CK	T1	T2	T3	T4
P1	75.46 \pm 4.04a	75.80 \pm 3.05a	74.37 \pm 3.23a	67.36 \pm 0.77b	64.36 \pm 3.41b
P2	85.82 \pm 0.25a	85.32 \pm 0.48a	84.28 \pm 2.79a	85.67 \pm 1.82a	66.87 \pm 1.66b
P3	87.86 \pm 0.42a	89.80 \pm 1.21a	90.10 \pm 2.35a	88.45 \pm 2.98a	60.10 \pm 2.62b
P4	81.03 \pm 3.48a	61.12 \pm 4.35b	29.93 \pm 2.63c	30.94 \pm 3.25c	21.43 \pm 3.11d
P5	79.99 \pm 2.74a	82.49 \pm 2.06a	81.01 \pm 3.17a	80.33 \pm 1.03a	37.38 \pm 1.58b

注:同行不同小写字母表示处理间的差异达到显著水平($P<0.05$),下同



注:不同小写字母表示差异显著($P<0.05$),下同

图1 干旱胁迫下5种植物相对电导率的变化

均显著高于对照组 ($P < 0.05$)。长隔木 (P3) 的叶片脯氨酸含量在干旱胁迫的初期和中期阶段变化相对比较平稳, 在干旱胁迫第12d时急剧增加, 达到 $168.22 \mu\text{g/g}$, 是对照组的2.89倍。粉花夹竹桃 (P5) 的叶片脯氨酸含量在干旱胁迫中后期 (6~12 d), 随着时间延长而显著增加 ($P < 0.05$)。

2.6 抗旱性综合评价

应用多指标综合评价的隶属函数数值法进行抗旱性综合评价, 结果表明 (表6), 5种植物抗旱性表现从强到弱依次为软枝黄蝉 (P1)、长隔木 (P3)、粉花夹竹桃 (P5)、地果 (P2)、冬红 (P4)。

3 讨论与结论

3.1 边坡植物应用及抗旱能力评价

灌木和草本植物组合是边坡绿化植物配置的主要模式^[1]。筛选抗逆性强、景观效果好的灌木植物, 尤其是花灌木植物, 是目前行业发展的重要方向^[7]。袁银等^[8]调查深圳边坡绿化中的植物发现, 常用的植物多为先锋阳性植物, 它们生长速度很快, 覆盖度很强, 但在边坡植被恢复过程中容易形成单一优势种群, 如银合欢种群、白灰毛豆种群等, 对植被顺行演替具有阻碍作用, 出现边坡植物种类单一、景观单调、生物多样性低、基底植被少或缺失、坡面表层土壤裸露等问题。部分植物如银合欢甚至干扰到自然生态安全^[13-14]。因此, 在边坡植物种类选择上需要继续优化。

国内多数学者从边坡植物资源^[7,15]、边坡植物组合筛选^[1,16]、边坡植物抗旱性^[17-18]等方面进行研究, 建立了比较完善的边坡植物抗旱性研究方法, 如盆栽控水方法、PEG-6000模拟干旱胁迫方法, 并利用隶属函数法, 从植物的形态指标、生理生化指标和光合特性等方面进行植物抗旱能力综合评价。本研究同样采用盆栽控水实验方法, 并选取前人推荐

的有效抗旱性指标进行测定。通过试验发现, 冬红的各项指标均反映其抗旱性较弱, 而其他4种植物的单项生理指标变化不一, 难以用一种指标来反映其抗旱特性。因此, 本研究采用多指标综合评价的隶属函数数值法进行抗旱性评价^[9,12]。

3.2 干旱胁迫下植物的变化

植物在干旱胁迫条件下, 不仅茎、叶和枝条等形态会发生直接的变化, 而且在质膜透性、渗透调节物质等生理生化方面都会发生变

化^[19-21]。相关研究表明, 植物的抗旱能力与叶片相对含水量、脯氨酸含量呈正相关^[22-23], 与相对电导率含量、丙二醛含量呈负相关^[19-20]。本次研究结果总体上与多人研究结论较为一致, 个别指标可能因植物种类不同而产生不同结论。如钱瑯璜等^[9]研究8种园林地被植物的抗旱性, 发现脯氨酸含量与抗旱性不相关, 仅是植物适应干旱环境的一种自我调节表现; 吴小青等^[10]研究3种景天属 *Sedum* 植物对干旱胁迫的生理生化响

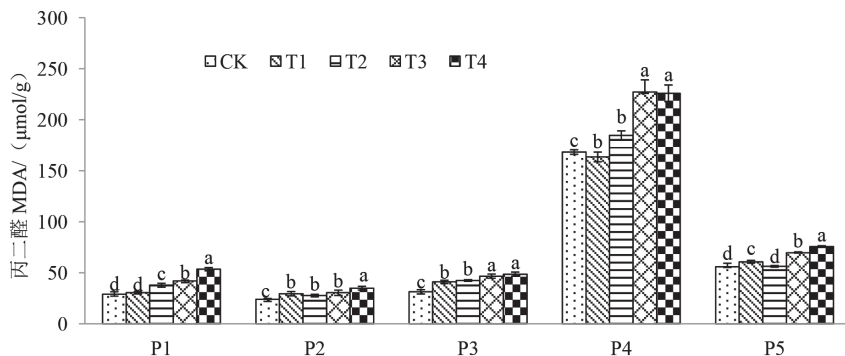


图2 干旱胁迫下5种植物丙二醛含量的变化

表5 干旱胁迫下5种植物叶片脯氨酸含量的变化

植物编号	单位: $\mu\text{g/g}$				
	CK	T1	T2	T3	T4
P1	$37.57 \pm 1.82\text{e}$	$54.59 \pm 2.25\text{d}$	$64.69 \pm 3.24\text{c}$	$71.04 \pm 2.32\text{b}$	$82.14 \pm 3.37\text{a}$
P2	$19.43 \pm 0.94\text{d}$	$32.94 \pm 2.98\text{c}$	$36.09 \pm 2.17\text{c}$	$45.63 \pm 1.93\text{a}$	$41.56 \pm 1.58\text{b}$
P3	$58.25 \pm 0.82\text{c}$	$75.72 \pm 2.01\text{b}$	$56.92 \pm 3.73\text{c}$	$78.58 \pm 4.79\text{b}$	$168.22 \pm 3.29\text{a}$
P4	$48.95 \pm 2.62\text{e}$	$231.29 \pm 15.08\text{d}$	$702.59 \pm 5.15\text{c}$	$978.60 \pm 19.79\text{b}$	$1334.65 \pm 19.88\text{a}$
P5	$18.72 \pm 3.84\text{d}$	$22.83 \pm 2.10\text{cd}$	$27.06 \pm 1.36\text{c}$	$32.48 \pm 1.81\text{b}$	$53.76 \pm 2.96\text{a}$

表6 5种植物抗旱能力综合评价结果

植物编号	相对含水量	相对电导率	丙二醛含量	脯氨酸含量	各指标隶属度均值	位次
P1	0.94	0.38	0.90	0.97	0.80	1
P2	1.00	0.00	1.00	1.00	0.75	4
P3	0.85	0.50	0.92	0.90	0.79	2
P4	0.00	0.56	0.00	0.00	0.14	5
P5	0.35	1.00	0.79	0.99	0.78	3

应,发现脯氨酸含量的变化与理论不符。本研究也发现干旱胁迫下5种植物的叶片脯氨酸含量总体呈增加趋势,其中耐旱能力最弱的冬红的增幅却最大,相比对照组提高了5~27倍,而抗旱能力最强的软枝黄蝉的增幅相对较小。因此,脯氨酸与植物抗旱性之间的关系难以直接阐明。另赵瑞雪等^[22]研究表明,在干旱胁迫下植物体不同部位的脯氨酸积累量也不同。由此可见,针对冬红等植物,需进一步研究其抗旱机制或避逆机制。

综上,通过综合评价5种植物的生理生化和形态指标特性,得到其抗旱能力表现从强到弱依次为软枝黄蝉、长隔木、粉花夹竹桃、地果、冬红。在边坡绿化应用中可根据植物的抗旱特性进行水分控制,如对于软枝黄蝉、长隔木、粉花夹竹桃和地果,在干旱季节可以保持6~9 d浇透一次水,在雨季基本上可以不用浇水。冬红受干旱胁迫时容易出现叶片萎蔫、嫩梢枯干等征状,但其生长快、萌蘖能力强、扦插繁殖快,在冬季花色艳丽、花期长,目前在部分边坡上已尝试应用,形成的景观效果深受喜爱。笔者在实践中也发现冬红受干旱胁迫12 d时仍能存活,而且复水后老叶能够快速恢复,因此可通过加大浇水频率,如干旱季节需要2~4 d浇透一次水,维持稳定的景观效果。

注:图片为作者自绘

参考文献:

- [1] 陈晓蓉,徐国钢,朱兆华,等.深圳地区道路边坡植物配置及群落建植技术[J].草业科学,2013,30(9):1359-1364.
- [2] LI C, ZHAO S Y, ZHOU H Q, et al. A Review of Research Progress of Vegetation Concrete on Coastal Highway Slope[J]. Journal of Coastal Research, 2019, 94 (SI): 367-371.
- [3] BAO X H, LIAO W Y, DONG Z J, et al. Development of Vegetation-Pervious Concrete in Grid Beam System for Soil Slope Protection[J]. Materials, 2017, 10 (2): 96.
- [4] RYZHKOV I B, ARSLANOV A A, MUSTAFIN R F. Quantitative Consideration of Tree-shrub Vegetation in Slope-Stability Analysis[J]. Soil Mechanics and Foundation Engineering, 2014, 51 (3): 145-150.
- [5] GHESTEM M, VEYLON G, BERNARE A, et al. Influence of Plant Root System Morphology and Architectural Traits on Soil Shear Resistance[J]. Plant and Soil, 2014, 377 (1/2): 43-61.
- [6] 陈俊,陈昊,潘艺华.我国边坡绿化技术的发展及应用现状[J].内蒙古科技与经济,2020(10):71-72,74.
- [7] 胡建忠.用于边坡绿化的水土保持灌草植物资源[J].中国水土保持,2021(10):1-4.
- [8] 袁银,廖浩斌,刘永金,等.深圳市生态修复裸露边坡的植物群落特征研究[J].广东林业科技,2013,29(3):60-65.
- [9] 钱璐璐,雷江丽,庄雪影.华南地区8种常见园林地被植物抗旱性比较研究[J].西北植物学报,2012,32(4):759-766.
- [10] 吴小青,曹丹,陈思逸,等.3种景天植物对干旱胁迫的生理生化响应[J].黑龙江生态工程职业学院学报,2021,34(4):30-32,151.
- [11] 高俊凤.植物生理学实验指导[M].北京:高等教育出版社,2006.
- [12] 曾红,温庚金,罗旭荣,等.4种轻型屋顶绿化植物抗旱能力的综合评价[J].草业科学,2016,33(6):1084-1093.
- [13] KHARE N, BISARIA A K. Allelopathic influence of *Leucaena leucocephala* on *Glycine max*[J]. Flora and Fauna(Jhansi), 2000, 6(2): 91-94.
- [14] 刘坤慧,陈芳清,刘梦,等.银合欢对2种边坡恢复先锋植物的化感作用[J].森林与环境学报,2017,37(1):40-46.
- [15] 何蓉蓉,刘东明,王丙兴,等.乡土植物资源在邢汾高速公路边坡生态恢复中的选择与应用[J].河北林业科技,2015(2):54-60.
- [16] 李云鹏,崔玉萍,陈双全,等.大循高速公路边坡植被恢复植物种组合筛选试验研究[J].公路,2021,66(9):347-352.
- [17] 谭雪红,高艳鹏,郭小平,等.五种高速公路边坡绿化植物的生理特性及抗旱性综合评价[J].生态学报,2012,32(16):5076-5086.
- [18] 许翩翩,王建柱.三种常见边坡植物对模拟干旱环境抗旱性能的研究[J].草业学报,2018,27(2):36-47.
- [19] 温琦,赵文博,张幽静,等.植物干旱胁迫响应的研究进展[J].江苏农业科学,2020,48(12):11-15.
- [20] 肖姣娣.3种刺篱植物对于旱胁迫的生理生化响应[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2015,43(7):155-160.
- [21] 杨壹,刘建军.屋顶绿化5种常绿植物的抗旱性研究[J].西北林学院学报,2020,35(1):73-79.
- [22] 赵瑞雪,朱慧森,程钰宏,等.植物脯氨酸及其合成酶系研究进展[J].草业科学,2008(2):90-97.
- [23] HONG Z L, LAKKINEN K, ZHANG Z H, et al. Removal of Feedback Inhibition of 1-Pyrroline-5-Carboxylate Synthetase Results in Increased Proline Accumulation and Protection of Plants from Osmotic Stress[J]. Plant Physiol, 2000, 122(4): 1129-1136.

作者简介:

许建新/1982年生/男/福建莆田人/博士/深圳技师学院(深圳 518116)/高级工程师/研究方向为边坡绿化、立体绿化

(*通信作者)傅卫民/1969年生/男/江西赣州人/硕士/深圳技师学院(深圳 518116)/高级讲师/研究方向为边坡绿化、园林绿化/E-mail: fwmgood@163.com

张杰/1983年生/男/山东淄博人/硕士/深圳技师学院(深圳 518116)/工程师/研究方向为植物栽培与养护