

9 种园林地被植物的抗旱性评价

李艳辉, 崔雅芳*, 张雨辰, 苏治维, 牟宁宁, 郭金辉, 崔潞心 (北京动物园, 北京 100044)

摘要 [目的]测定 9 种地被植物在干旱胁迫下的形态和生理生化指标变化, 分析其变化规律与植物抗旱性之间的关系, 为地被植物在园林中的应用提供科学依据。[方法]通过观察和测定委陵菜、红花酢浆草、草地早熟禾、崂峪苔草、紫花地丁、麦冬、野牛草、蛇莓和马蔺 9 种地被植物的存活率、过氧化物酶(POD)、超氧化物歧化酶(SOD)、丙二醛(MDA)、细胞质膜透性 5 项抗旱指标, 运用隶属函数法对其综合抗旱适应性进行定量评价。[结果]随着干旱胁迫程度的加深, 9 种参试植物的外部形态特征表现出明显差异; SOD 活性总体表现为先上升后下降的趋势, POD 活性总体表现为先下降后上升的趋势; MDA 含量总体呈增加趋势; 干旱胁迫对 9 种参试植物的质膜透性均产生影响, 但各植物的表现不同。[结论]9 种地被植物的综合抗旱性表现为麦冬>崂峪苔草>马蔺=蛇莓>野牛草>紫花地丁>红花酢浆草>草地早熟禾>委陵菜。

关键词 地被植物; 形态指标; 生理生化指标; 抗旱性

中图分类号 S668.4 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2021)12-0112-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.12.028



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Evaluation of Drought-resistance of Nine Landscape Ground Cover Plants

LI Yan-hui, CUI Ya-fang, ZHANG Yu-chen et al (Beijing Zoo, Beijing 100044)

Abstract [Objective] To determine the changes of morphological, physiological and biochemical indexes of 9 ground cover plants under drought stress, and analyze the relationship between the change law and plant drought resistance, so as to provide scientific basis for the application of ground cover plants in landscape architecture. [Method] Observation and determination of the survival rates, peroxidase (POD), superoxide dismutase (SOD), malondialdehyde (MDA) and cytoplasmic membrane permeability of 9 types of ground cover plants, including *Potentilla chinensis*, *Oxalis corymbosa*, *Iris lacteal*, *Buchloe dactyloides*, *Poa pratensis*, *Duchesnea indica*, *Carex giraldiana*, *Viola philippica*, *Ophiopogon japonicas*. Applying the method of subordinate function, 5 physiological drought-resistance indexes of 9 ground cover plants were measured and a quantitative evaluation on comprehensive drought resistance of them was given. [Result] With the deepening of drought stress, the external morphological characteristics of the nine tested plants showed significant differences. The activity of SOD increased first and then decreased, the activity of POD decreased first and then increased. The content of MDA increased; drought stress affected the permeability of plasma membrane of the nine tested plants, but the performance of each plant was different. [Conclusion] The comprehensive drought resistance of the nine ground cover plants was *Ophiopogon japonicas*> *Carex giraldiana*> *Iris lacteal*(*Duchesnea indica*)> *Buchloe dactyloides*> *Viola philippica*> *Oxalis corymbosa*> *Poa pratensis*> *Potentilla chinensis*.

Key words Ground cover plant; Morphological indexes; Physiological and biochemical indexes; Drought-resistance

随着社会经济和城市建设的快速发展, 城市水资源和生态环境之间的矛盾日益突出。耐旱型地被植物对建设节约型园林具有重要意义, 它是城市可持续发展的重要基础。北京地处华北平原北端, 属暖温带半湿润大陆性季风气候, 年平均降水量 600 mm, 季节降水量不均匀, 70% 的降雨集中在 7、8、9 月, 其他月份少雨干旱, 因此, 开展地被植物耐旱性研究, 筛选出一批耐旱能力较强地被品种, 是构建节约型园林的技术关键。该研究测定了 9 种地被植物在干旱胁迫下所发生的形态和生理生化指标的变化, 分析其变化规律与植物抗旱性之间的关系。采用模糊数学中的隶属函数法对 9 种植物的抗旱性指标进行综合评定, 力图筛选出抗旱性能好、综合景观效果优良的地被植物应用于具体实践中。

1 材料与方法

1.1 试验材料 供试材料为从北京动物园多种地被植物中初步筛选出的生长面积较大、综合性状比较优良、有推广应用价值的 9 种地被植物, 均为 2 年生苗。供试品种为委陵菜、红花酢浆草、马蔺、野牛草、草地早熟禾、蛇莓、崂峪苔草、紫花地丁、麦冬, 其生物学特性见表 1。

1.2 试验方法

1.2.1 试验设计。该试验在北京动物园后院试验田进行干旱胁迫处理。2019 年 5 月 20 日选择无病虫害、长势良好且一致的 9 种试验材料移入口径为 1.2 m×0.8 m、高 0.5 m 的木箱进行栽培, 放置在防雨棚内, 每箱为 1 个重复, 共重复 3 次, 在相同条件下进行统一的水分和养管理。2019 年 6 月 12 日开始进行干旱胁迫试验, 每隔 10 d 取 1 次样, 共取样 4 次。

1.2.2 形态指标测定。每天对植物的长势及叶片的生长情况包括叶色、叶失水情况、叶枯死量等进行调查, 根据水分胁迫危害程度分为 5 个级别, 级数越小, 抗性越强。1 级: 植株生长受抑制不明显, 无受害症状; 2 级: 植株生长受抑制较轻, 叶片萎缩, 失去光泽; 3 级: 部分植株生长受抑制, 30% 叶片萎缩焦枯; 4 级: 植株生长受抑制, 生长基本停止, 大多数叶片失绿枯落; 5 级: 植株生长完全停止, 茎叶明显萎缩, 大多数叶片枯死^[1]。

1.2.3 生理指标测定。POD 活性的测定采用愈创木酚法^[2], SOD 活性的测定采用氮蓝四唑(NBD)光还原法, 丙二醛(MDA)含量的测定采用 TBA 法, 质膜相对透性采用电导仪法^[3]。

1.2.4 抗旱性的综合评定。利用模糊函数中的隶属函数法, 计算 9 种地被植物抗性生理指标的平均隶属函数值。平均值越大, 抗旱性越强。隶属函数计算公式如下: 若指标与抗旱性呈正相关, 则 $Z_{ij} = (X_{ij} - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$; 若指标与抗

基金项目 地被植物在节约型园林建设中的选择与应用(KGBZ201912)。
作者简介 李艳辉(1982—), 女, 河北邯郸人, 农艺师, 硕士, 从事园林绿化工作。*通信作者, 高级工程师, 从事园林绿化工作。
收稿日期 2020-10-09

旱性呈负相关,则 $Z_{ij} = 1 - (X_{ij} - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$ 。其中, Z_{ij} 表示 i 植物 j 指标的抗旱隶属函数值, X_{ij} 表示 i 植物 j 指标的测定值, $X_{\min}$ 和 $X_{\max}$ 分别表示各植物对应指标的最小值和最大值^[4]。

表 1 参试地被植物生物学特性

Table 1 Biological characteristics of tested ground cover plants

序号 No.	植物种类 Plant species	学名 Scientific name	科属 Family and genus	生物学特性 Biological characteristics
1	委陵菜	<i>Potentilla chinensis</i>	蔷薇科委陵菜属	多年生草本,株高 15~30 cm,奇数羽状复叶,花期 5—6 月
2	红花酢浆草	<i>Oxalis corymbosa</i>	酢浆草科酢浆草属	多年生草本,株高 10~40 cm,叶基生,花期 4—10 月
3	马蔺	<i>Iris lactea</i>	鸢尾科鸢尾属	多年生草本,株高 30~60 cm,叶基生,花期 5—6 月
4	野牛草	<i>Buchloe dactyloides</i>	禾本科野牛草属	多年生草本,株高 16~25 cm,叶基生,花期 6—8 月
5	草地早熟禾	<i>Poa pratensis</i>	禾本科早熟禾属	多年生草本,株高 10~30 cm,叶基生,花期 5—6 月
6	蛇莓	<i>Duchesnea indica</i>	蔷薇科蛇莓属	多年生草本,株高 10~30 cm,羽状复叶,花期 4—7 月
7	崂峪苔草	<i>Carex giraldiana</i>	莎草科苔草属	多年生常绿草本,株高 16~30 cm,叶基生或秆生叶,花期 4—5 月
8	紫花地丁	<i>Viola philippica</i>	堇菜科堇菜属	多年生草本,株高 10~20 cm,叶基生,花期 4—10 月
9	麦冬	<i>Ophiopogon japonicus</i>	百合科沿阶草属	多年生常绿草本,株高 10~50 cm,叶基生,花期 5—8 月

2 结果与分析

2.1 干旱胁迫下植物外部形态特征的变化与存活率 由表 2、3 可知,随着干旱胁迫强度的增大和胁迫时间的延长,9 种参试植株的生长指标均受到不同程度的限制。干旱胁迫 10 d,9 种参试植物生长良好,几乎未受到影响,仅委陵菜和红花酢浆草少量叶片出现萎蔫失水状态,这说明 9 种参试植物均能适应短时间的干旱胁迫。干旱胁迫 20 d,委陵菜受干旱伤害最为严重,仅有 50% 的存活率,叶片枯死量等级表现为Ⅳ级;红花酢浆草、马蔺、草地早熟禾和紫花地丁有 30% 左右的参试植株出现萎蔫焦枯,叶片枯死量等级表现为Ⅲ级,其余 4 种受干旱伤害较轻。干旱胁迫 30 d,委陵菜、红花酢浆草、马蔺、草地早熟禾和紫花地丁的存活率较低,分别为 9%、35%、32%、56%、28%,叶片枯死量等级在Ⅳ级及以上。干旱胁迫 40 d,委陵菜、马蔺、紫花地丁的存活率仅 2%、9%、8%;麦冬受干旱胁迫伤害较轻,80% 以上的参试植株均能存活。

表 2 干旱胁迫下 9 种植物的叶片枯死量等级

Table 2 Grade of leaf dead weight of 9 plants under drought stress

序号 No.	植物种类 Plant species	叶片枯死量等级 Grade of leaf dead weight			
		10 d	20 d	30 d	40 d
1	委陵菜	I	Ⅳ	V	V
2	红花酢浆草	I	Ⅲ	Ⅳ	Ⅳ
3	马蔺	I	Ⅲ	Ⅳ	V
4	野牛草	I	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ
5	草地早熟禾	I	Ⅲ	Ⅳ	V
6	蛇莓	I	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ
7	崂峪苔草	I	Ⅱ	Ⅱ	Ⅲ
8	紫花地丁	I	Ⅲ	Ⅳ	V
9	麦冬	I	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ

2.2 干旱胁迫下植物生理指标

2.2.1 干旱胁迫下植物叶片 POD 活性的变化。在干旱胁迫下,POD 活性的高低与植物抗旱能力呈正相关。从图 1 可以看出,马蔺、蛇莓、草地早熟禾、野牛草的 POD 活性在胁迫 40 d 内呈下降—上升—下降的变化趋势;马蔺和野牛草的 POD 活性在胁迫 20 d 出现了大幅降低;崂峪苔草和麦冬的 POD 活性在干旱胁迫 10~30 d 缓慢下降,30 d 降至最低,之

后又大幅升高;委陵菜的 POD 活性在胁迫 40 d 呈持续下降趋势;红花酢浆草和紫花地丁的 POD 活性呈先上升后下降的趋势,在胁迫 20 d 时出现最高值。在整个胁迫过程中,9 种参试植株 POD 活性总体变化趋势为先降后升,这与刘琛彬等^[5]的研究结果一致。

表 3 干旱胁迫下 9 种植物的存活率

Table 3 Survival rate of 9 plants under drought stress

序号 No.	植物种类 Plant species	存活率 Survival rate//%			
		10 d	20 d	30 d	40 d
1	委陵菜	90	50	9	2
2	红花酢浆草	98	68	35	12
3	马蔺	100	72	32	9
4	野牛草	100	85	62	21
5	草地早熟禾	100	73	56	15
6	蛇莓	100	86	68	21
7	崂峪苔草	100	88	71	41
8	紫花地丁	100	67	28	8
9	麦冬	100	90	88	86

由此可知,随着干旱胁迫强度的增强和胁迫时间的延长,麦冬和崂峪苔草叶组织具有较强的抵御活性氧的伤害作用;马蔺和红花酢浆草受干旱胁迫伤害出现的时间最早;委陵菜抵御活性氧的伤害作用最弱。这说明在干旱胁迫下,麦冬和崂峪苔草具有较强的抗旱性,委陵菜抗旱性较弱,其他几种参试品种抗旱性一般且抗旱性能不稳定。

2.2.2 干旱胁迫下植物叶片 SOD 活性的变化。在干旱胁迫下 SOD 活性的高低与植物抗旱能力呈正相关。从图 2 可以看出,受干旱胁迫后,9 种供试植物表现出不同的生理反应敏感度,红花酢浆草、马蔺、蛇莓、麦冬、草地早熟禾、野牛草 6 种参试植物对于干旱环境的生理反应敏感,在胁迫的 40 d 内呈现出上升—下降—上升的变化趋势,且变化幅度明显。9 种参试植株在胁迫 30 d 时,SOD 含量均较低,且数值较为接近。委陵菜、紫花地丁、马蔺在胁迫 10~40 d SOD 活性均较低,且变化幅度不明显。

由此可知,在干旱胁迫 10~20 d,供试植株叶片组织具有较强抵御活性氧伤害的能力,受干旱胁迫伤害较小。随着胁迫时间的延长,参试植株细胞内越来越多的活性氧,已经超

过了植物细胞清除氧化自由基的能力范围,在 30 d 时表现出明显的受干旱伤害状态。

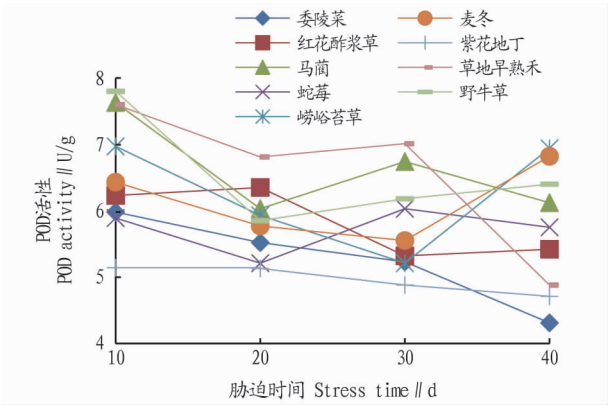


图 1 干旱胁迫下 9 种地被植物叶片 POD 活性的变化

Fig.1 Changes of POD activity in leaves of 9 ground cover plants under drought stress

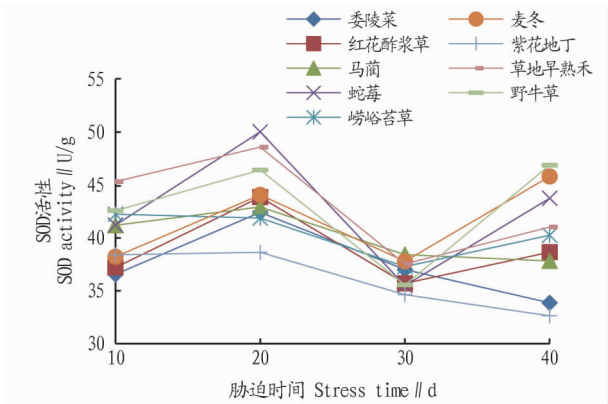


图 2 干旱胁迫下 9 种地被植物叶片 SOD 活性的变化

Fig.2 Changes of SOD activity in leaves of 9 ground cover plants under drought stress

2.2.3 干旱胁迫下植物叶片 MDA 含量的变化。在干旱胁迫下,MDA 含量的积累与植物自身的保护能力呈负相关关系。MDA 含量大量增加时,表明植物体内细胞受到较严重的破坏。从图 3 可以看出,9 种参试植物叶片的 MDA 含量总体呈逐步上升趋势,这与张朝阳等^[6]和韩玉林等^[7]研究发现在干旱胁迫下植物细胞内 MDA 含量有一定程度增高的结果相一致。胁迫 10~40 d,9 种参试植物叶内的 MDA 含量均有所增加,这说明植物叶内细胞膜系统均受到了不同程度的破坏。干旱胁迫 10~20 d,委陵菜的 MDA 含量增长速度最快,增长率 40.85%,这与赵婵璞^[1]发现委陵菜 MDA 含量在干旱胁迫 20 d 时突增的研究结果相一致;其次是草地早熟禾和野牛草,增长率分别为 27.40%、22.67%,差异显著。干旱胁迫的 20~30 d,崂峪苔草、蛇莓、红花酢浆草的 MDA 含量均有明显增加,增长率分别为 23.17%、21.98%、21.98%。干旱胁迫 30~40 d,马蔺的 MDA 含量有明显增加,增长率为 20.93%。麦冬的 MDA 含量增长较缓慢。

由此可知,委陵菜、草地早熟禾、野牛草受到干旱胁迫的影响早于其他几种参试植物,且委陵菜受膜脂过氧化影响程度较重。崂峪苔草、蛇莓、红花酢浆草在胁迫的 20~30 d 植

物体细胞受干旱导致的膜脂过氧化伤害较严重。草地早熟禾、马蔺在胁迫 30~40 d 时植物体内细胞受干旱导致的膜脂过氧化伤害较严重。麦冬受干旱胁迫伤害影响最小,说明麦冬具有较强的耐旱能力,马蔺次之,委陵菜的耐旱性最弱。

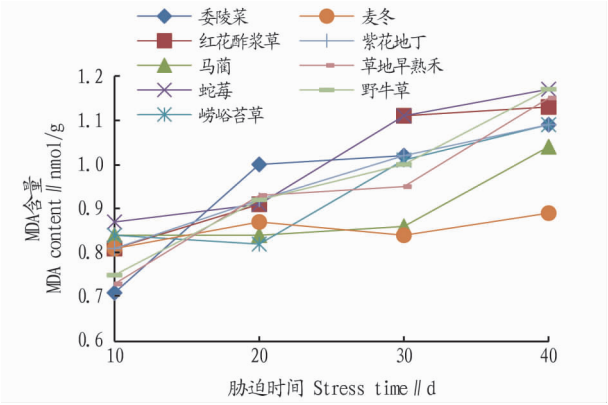


图 3 干旱胁迫下 9 种地被植物叶片 MDA 含量的变化

Fig.3 Changes of MDA content in leaves of 9 ground cover plants under drought stress

2.2.4 干旱胁迫下植物叶片质膜透性的变化。在干旱胁迫下,细胞原生质膜的结构和功能首先受到损伤,导致电阻率增大^[8]。膜透性的变化可以反映质膜受伤害的程度,且与质膜受伤害程度成正比,即质膜透性与植物抗旱性呈负相关关系^[9]。从图 4 可以看出,干旱胁迫对 9 种参试植物的质膜透性均产生影响,但各植物间表现有所不同。干旱胁迫 20 d,崂峪苔草、委陵菜、野牛草、紫花地丁的相对电导率明显高于 10 d;红花酢浆草、草地早熟禾、马蔺、蛇莓的相对电导率与 10 d 时接近,变化不明显。干旱胁迫 30 d,草地早熟禾、野牛草、马蔺、蛇莓的相对电导率明显高于 20 d,其他几种植物低于 20 d。干旱胁迫 40 d,9 种参试植物的电导率均高于 30 d,其中委陵菜的差异最大,麦冬、马蔺的相对电导率与 30 d 时接近。在干旱胁迫 40 d 内,野牛草、蛇莓的相对电导率增长最大,麦冬的相对电导率变化不明显。

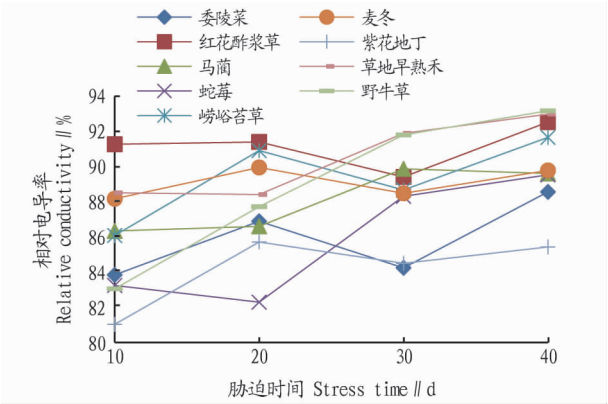


图 4 干旱胁迫下 9 种地被植物叶片相对电导率的变化

Fig.4 Changes of Relative conductivity in leaves of 9 ground cover plants under drought stress

由此可知,在干旱胁迫下,野牛草、蛇莓的细胞原生质膜的结构和功能受到损伤最为严重;麦冬受到的损伤较轻。这说明麦冬具有较强的抗旱性,其他几种次之,野牛草、蛇莓的

抗旱性最弱。

2.3 参试植物抗旱指标的综合评价 植物的抗旱性是由多重因素控制的复杂的综合性状,利用某一指标单独评价植物的抗旱能力具有很大的局限性,难以全面反映植物的真实抗旱能力。目前模糊数学函数法是普遍应用于植物抗旱性评

价的一种方法^[10]。由表 4 可知,各参试植物隶属函数均值从大到小依次为麦冬、崂峪苔草、马蔺、蛇莓、野牛草、紫花地丁、红花酢浆草、草地早熟禾、委陵菜。这说明麦冬的抗旱性最强,崂峪苔草次之,委陵菜的抗旱性最弱。

表 4 9 种地被植物的抗旱性综合评价
Table 4 Comprehensive evaluation of drought resistance of 9 ground cover plants

序号 No.	植物种类 Plant species	存活率 Survival rate(+)	POD 活性 POD activity(+)	SOD 活性 SOD activity(+)	MDA 含量 MDA content(-)	质膜透性 Plasma membrane permeability(-)	隶属函数平均值 Membership function average	抗旱性 Drought resistance
1	委陵菜	0	0	0.09	0.29	0.60	0.20	8
2	红花酢浆草	0.12	0.42	0.42	0.14	0.08	0.24	6
3	马蔺	0.08	0.69	0.36	0.46	0.46	0.41	3
4	蛇莓	0.23	0.55	0.78	0.00	0.47	0.41	3
5	崂峪苔草	0.46	1.00	0.53	0.29	0.20	0.50	2
6	麦冬	1.00	0.95	0.92	1.00	0.44	0.86	1
7	紫花地丁	0.07	0.15	0	0.29	1.00	0.30	5
8	草地早熟禾	0.15	0.22	0.59	0.07	0.02	0.21	7
9	野牛草	0.23	0.79	1.00	0	0	0.40	4

说明:“+”表示该指标与抗旱性呈正相关,“-”表示该指标与抗旱性呈负相关
Note:“+” indicates that the index is positively correlated with drought resistance,“-” indicates that the index is negatively related to drought resistance

3 结论与讨论

3.1 植物形态特征变化与抗旱性 该研究对参试植物的外部形态特征进行了观察记录,得出了参试植物抗旱性的基本情况。观察发现,在干旱胁迫的前 10 d,参试植物的生长及外部形态特征基本没有变化,这说明 9 种参试植物都能适应短时间的干旱环境。随着干旱胁迫程度的加深,9 种参试植物的外部形态特征出现了明显差异,且植物存活率与叶片枯死等级与隶属函数法得出的抗旱性量化评定结果基本一致,这说明水分胁迫下植物形态指标的变化能够较直观地反映植物的抗旱能力,可作为初步鉴定植物抗旱性的有效指标。

3.2 植物的生理指标与抗旱性 SOD 和 POD 是植物膜脂过氧化物酶促防御系统的重要保护酶,能够在一定程度上忍耐、减缓或抵抗水分胁迫,从而起到保护和稳定生物膜的作用^[11]。该研究结果表明,植物体内的 POD、SOD 随着胁迫程度的加深表现出升高和降低 2 种不同的变化趋势。SOD 活性的变化趋势整体表现为先上升后下降,POD 活性的总体变化趋势为先下降后上升。不同植物的变化趋势和幅度也存在不同程度的差异。干旱胁迫持续至 40 d,麦冬和崂峪苔草的 SOD 和 POD 活性较高,委陵菜的含量较低,这说明生理指标 SOD 和 POD 活性的测定结果与最终得出的抗旱性综合评价结果基本一致。

干旱胁迫使得植物膜的渗透性增加,相对电导率和 MDA 含量增加。因此,相对电导率的增加和 MDA 的积累可以反映干旱胁迫对参试植物造成的伤害程度。该研究中,随着干旱胁迫程度的加深,蛇莓、委陵菜、野牛草等相对电导率和 MDA 的含量变化呈持续上升趋势;麦冬、崂峪苔草则呈缓慢上升或趋于稳定。这说明麦冬、崂峪苔草具有较强的抗旱能力,而委陵菜、蛇莓等抗旱能力较弱。

3.3 抗旱性综合评价 植物适应干旱胁迫的重要方式之一是外部形态和内部生理指标发生变化。不同植物在形态结构特征、生理生化特性及生长发育等方面对于干旱逆境的反映

不同,所形成的抗旱机理也不同^[12]。以单一指标对参试植株的抗旱性进行排序,误差较大,影响结果的准确性,因此选取几个或多个与植物抗旱能力有关的指标对参试植株进行量化评价。该研究综合植物存活率、SOD、POD、MDA、细胞质膜透性等指标,采用模糊数学中的隶属函数法来定量评价供试植株的抗旱能力,评价结果表明,参试植株的抗旱能力表现为麦冬>崂峪苔草>马蔺=蛇莓>野牛草>紫花地丁>红花酢浆草>草地早熟禾>委陵菜。隶属函数分析提供了一种在多指标测定的基础上对材料进行综合评价的方法,将其应用于抗旱植物的选择具有科学和可靠性。由于各指标不仅有指标单方面的作用,还具有多指标间的相互作用,若要提高抗旱鉴定的准确性,提高筛选抗旱品种的可靠性,须进一步对这些指标的相互作用开展进一步的综合分析^[13]。

参考文献

[1] 赵婵璞.两种委陵菜的适应性研究[D].保定:河北农业大学,2014.
[2] 李合生.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2000:277-280.
[3] 赵婵璞,王卫军,刘冬云,等.水分胁迫对匍枝委陵菜形态及生理特性的影响[J].河北农业大学学报,2013,36(5):34-38.
[4] 谭彦,崔妍,彭重华,等.5 种园林地被植物的抗旱性研究[J].江苏农业科学,2016,44(3):203-206.
[5] 刘琛彬,康红梅,薄伟,等.5 种地被植物的抗旱性[J].山西农业科学,2014,42(12):1279-1282.
[6] 张朝阳,许桂芳,向佐湘.干旱胁迫对 4 种常绿藤本植物抗性生理生化指标的影响[J].江西农业学报,2008,20(12):42-45.
[7] 韩玉林,孙桂弟,黄苏珍.干旱胁迫对鸢尾属 5 种观赏地被植物部分生理代谢的影响[J].北方园艺,2006(6):96-98.
[8] 许宏刚,吴永华,廖伟彪,等.4 种菊科植物的抗旱性评价[J].甘肃农业科技,2011(10):15-17.
[9] 杨婷.膜脂过氧化对植物细胞的伤害[J].科技与创新,2018(8):61-62.
[10] 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.
[11] 侯端英,方升佐,薛建辉,等.干旱胁迫对青檀等树种苗木生长及生理特性的影响[J].南京林业大学学报(自然科学版),2003,27(6):103-106.
[12] 李禄军,蒋志荣,李正平,等.3 树种抗旱性的综合评价及其抗旱指标的选取[J].水土保持研究,2006,13(6):253-254,259.
[13] 赵兰,邢婷婷,聂庆娟,等.4 种地被观赏竹抗旱性综合评价研究[J].西北林学院学报,2011,26(1):18-21.