

郑颖,陈清西. 6 个杜鹃品种的抗旱性评价[J]. 江苏农业科学,2019,47(20):163-167.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.20.037

6 个杜鹃品种的抗旱性评价

郑颖,陈清西

(福建农林大学园艺学院,福建福州 350002)

摘要:以 6 个杜鹃品种为试验材料,研究聚乙二醇 6000(PEG-6000)模拟不同程度干旱胁迫对杜鹃叶片形态、生理指标和叶绿素荧光动力学参数的影响,应用隶属函数法评价 6 个杜鹃品种的抗旱性,筛选抗旱性强的杜鹃品种。结果表明,随着干旱胁迫的加剧,杜鹃叶片叶绿素 a、叶绿素 b 与总叶绿素含量逐渐增加,除御代之荣外的杜鹃品种在重度胁迫(-0.8 MPa)下与对照差异显著;除紫气东升、神州奇外其他品种的丙二醛含量、相对电导率和游离脯氨酸含量随着胁迫加剧而有所增加;其中,雪晴的脯氨酸含量整体增幅最大,比对照增加 1.62~3.82 倍;重度干旱下御代之荣的丙二醛含量、相对电导率增幅均最大,分别为对照的 2.02、3.11 倍。紫秀、红阳、御代之荣的实际光化学量子产量、光化学淬灭系数、光合电子传递速率随着干旱胁迫程度的加深呈逐渐下降的趋势,且在重度胁迫下,除紫气东升、雪晴外的各杜鹃品种与对照相比均呈显著性下降。可溶性蛋白含量总体变化较小,紫秀、御代之荣在胁迫下与对照相比均呈显著性变化。利用隶属函数法进行综合评价,6 个品种抗旱性强弱排序为紫气东升>雪晴>红阳>神州奇>御代之荣>紫秀。

关键词:杜鹃;干旱胁迫;叶片形态;生理指标;隶属函数法;抗旱性;叶绿素荧光动力学参数;品种筛选

中图分类号: S685.210.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)20-0163-05

杜鹃花(*Rhododendron*)是杜鹃花科杜鹃花属植物,其花色多样、品种丰富、姿形优美,是中国传统十大名花之一,也是

收稿日期:2018-08-03

基金项目:福建农林大学科技创新专项(编号: CXZX2017186)。

作者简介:郑颖(1994—),女,福建闽侯人,硕士,主要从事花卉与景观园艺研究。E-mail:522402510@qq.com。

通信作者:陈清西,博士,教授,博士生导师,主要从事园艺植物生理研究。E-mail:cqx0246@fafu.edu.cn。

世界著名的观赏植物^[1]。杜鹃花是福建省福州市园林绿化美化的主要树种之一,目前应用的品种较为单一,多为毛鹃。杜鹃喜湿润,不耐干旱,而福州市夏秋季常常很少或无降雨,以致造成干旱现象,严重影响杜鹃花正常的生长发育以及推广应用^[2]。因此,筛选观赏性强、抗旱性好的杜鹃品种进行推广,一方面可以丰富福州市园林绿化景观,另一方面又符合节约型园林的理念。

聚乙二醇 6000 (polyethylene glycol 6000,简称 PEG-

西大学,2017。

[10] Chen S B, Chen S L, Xiao P G. Ethnopharmacological investigations on *Thalictrum* plants in China[J]. *Journal of Asian Natural Products Research*, 2003, 5(4): 263-271.

[11] Khamidullina E A, Gromova A S, Lutsky V I, et al. Natural products from medicinal plants: non-alkaloidal natural constituents of the *Thalictrum* species[J]. *Natural Product Reports*, 2006, 23(1): 117-129.

[12] 蔡应繁,李生伟,陈大霞,等. 唐松草及近缘植物 ITS 序列和 5S rRNA 基因间隔区序列的分析[J]. *四川大学学报(自然科学版)*, 2008(4): 951-955.

[13] 张雪梅. 米心水青冈和台湾水青冈叶解剖结构比较研究[J]. *黑龙江农业科学*, 2016(3): 89-93.

[14] 徐扬,陈小红,赵安玖. 川西高原 4 种苹果属植物叶片解剖结构与其抗旱性分析[J]. *西北植物学报*, 2015, 35(11): 2227-2234.

[15] 邵财,刘继永,张浩,等. 吉林延龄草营养器官解剖结构和光合生理特性对环境适应性研究[J]. *东北农业大学学报*, 2015, 46(5): 32-37.

[16] 王荣,郭志华. 不同光环境下枫香幼苗的叶片解剖结构[J]. *生态学杂志*, 2007(11): 1719-1724.

[17] 司怀通. 红树林植物气孔对环境因子的响应特点[D]. 南宁:广

[18] 武春霞,杨静慧,索何凤,等. 3 种海棠叶片解剖结构与抗旱性的关系[J]. *天津农业科学*, 2016, 22(12): 11-14, 27.

[19] 钱长江,徐建,姜金仲,等. 贵州特有植物习水报春的生态调查及其叶片解剖结构[J]. *贵州农业科学*, 2014, 42(10): 28-31.

[20] 张泽宏,吴小霞. 5 种蕨类植物叶片解剖结构及其对阴生环境的适应性研究[J]. *华中师范大学学报(自然科学版)*, 2013, 47(6): 840-843.

[21] 亓白岩,殷云龙,於朝广,等. 木兰科含笑属 8 种植物叶片解剖结构性状与抗寒性的关系[J]. *江苏农业科学*, 2013, 41(4): 150-153.

[22] 钱雪,张友民,张达维,等. 丁香属植物红丁香解剖结构及其抗旱适应性[J]. *北方园艺*, 2017(8): 70-75.

[23] 韩利红,张亚萍,丁雪梅,等. 3 种入侵植物营养器官解剖特征及其生态适应性[J]. *江苏农业科学*, 2018, 46(3): 92-95.

[24] 欧巧明,倪建福,马瑞君. 春小麦根系木质部导管与其抗旱性的关系[J]. *麦类作物学报*, 2005, 25(3): 27-31.

[25] 肖静,杨洪强. 植物导管分子分化和形成的生理生化机制[J]. *植物生理学通讯*, 2004, 40(2): 141-145.

[26] 丁俊杰,张鑫,楚光明,等. 三种荒漠植物导管特征及其可塑性研究[J]. *干旱区资源与环境*, 2016, 30(9): 171-177.

6000)常作为水分胁迫剂被广泛应用于植物抗旱性研究。本试验以新引进的杜鹃品种观赏性评价为基础,选择观赏性强的6个品种,采用PEG-6000模拟生理干旱,研究不同程度干旱胁迫对6个杜鹃品种形态、生理指标和叶绿素荧光动力学参数的影响,并对6个品种的抗旱性进行综合评价,筛选出抗旱性强的杜鹃品种,为其在福州市的进一步推广应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

选用福州市新引进的观赏性强的6个杜鹃品种为紫气东升、紫秀、雪晴、神州奇、红阳和御代之荣,均来自于金华市永根杜鹃花培育有限公司,为生长健壮的2年生苗。

1.2 试验方法

试验于2017年10月14日在福建农林大学园艺科技楼实验室内进行。试验以Hogland营养液为水培底液,先用Hogland营养液适应性培养5d后采用PEG-6000进行不同程度的干旱胁迫处理。试验共设对照(CK,0 MPa)以及3个胁迫梯度(-0.1、-0.4、-0.8 MPa)。根据Michel等的公式^[3]配制不同渗透势相对应的PEG-6000溶液:在室温为25℃时,-0.1 MPa所对应的PEG-6000浓度为7.85%;-0.4 MPa所对应的PEG-6000浓度为17.84%;-0.8 MPa所对应的PEG-6000浓度为26.19%。试验于光照培养箱内进行,温度为25℃。各品种每个处理设置3个重复,每个重复3株。胁迫处理36h后,观察植株形态变化,选取中部成熟叶片剪碎混匀后进行相关生理生化指标测定,重复3次。

1.3 测定指标

将植株叶片伤害级值分为0~4级:0级(叶片健康,无受害症状)、1级(叶片萎蔫失水,呈下垂状态)、2级(叶尖、叶片1/3处干枯)、3级(叶片1/3~2/3处干枯)、4级(整叶干枯)。记录叶片形态变化与相应伤害级值的叶片数,计算植株萎蔫程度,公式如下:

植株萎蔫度 = [Σ (叶片伤害级值 × 相应级别的叶片数) / (每株叶片总数 × 4)] × 100。

叶绿素含量采用丙酮浸提法测定^[4];叶绿素荧光动力学参数采用Imaging-PAM荧光成像仪测定;脯氨酸含量采用茚三酮显色法测定^[5];叶片可溶性蛋白含量采用考马斯亮蓝法测定^[5];相对电导率采用电导仪法测定^[6];丙二醛含量采用硫代巴比妥酸比色法测定^[5]。

1.4 数据处理

本试验采用Microsoft Excel 2007和SPSS 17.0软件进行数据统计分析,采用隶属函数法对6个杜鹃品种抗旱性进行综合评价,对各品种的每个指标求其隶属值^[7]。若某一指标与抗旱性呈正相关,则公式为: $X_u = (X_i - X_{min}) / (X_{max} - X_{min})$,若某一指标与抗旱性呈负相关,则采用如下公式: $X_u = 1 - (X_i - X_{min}) / (X_{max} - X_{min})$,其中, X_u 为某品种某一指标的隶属值, X_i 为某品种某一指标的测定值, X_{max} 为某一测定指标所有供试材料中的最大值, X_{min} 为该指标所有供试材料中的最小值。将各指标的抗旱隶属值累加后求其平均值,平均值越大,抗旱性越强。

2 结果与分析

2.1 PEG 模拟干旱胁迫对杜鹃形态和若干生理指标的影响

2.1.1 对植株形态的影响 由表1可知,随着干旱胁迫加剧,植株受害加重。-0.1 MPa轻度干旱处理下,紫气东升未出现形态变化,雪晴、神州奇萎蔫现象较轻,其余品种萎蔫现象较严重,御代之荣萎蔫度最高,受害最严重。-0.4 MPa中度干旱处理下,紫气东升、雪晴受害较轻,出现少量叶片萎蔫,御代之荣与紫秀萎蔫现象较重,伴随着不同程度的干枯与掉叶,受害最重。在-0.8 MPa严重干旱处理下,紫气东升、雪晴部分叶片出现萎蔫,少量叶片叶尖干枯;其余品种叶片萎蔫、干枯现象较重;紫秀、御代之荣掉叶现象明显,受害最重。抗旱性越强的杜鹃品种,植株受害程度越轻,紫气东升植株整体受害程度较轻,雪晴次之,御代之荣、紫秀植株受害程度较为严重,出现严重的萎蔫现象,并伴随着干枯与掉叶。

表1 干旱胁迫下杜鹃植株萎蔫度的变化

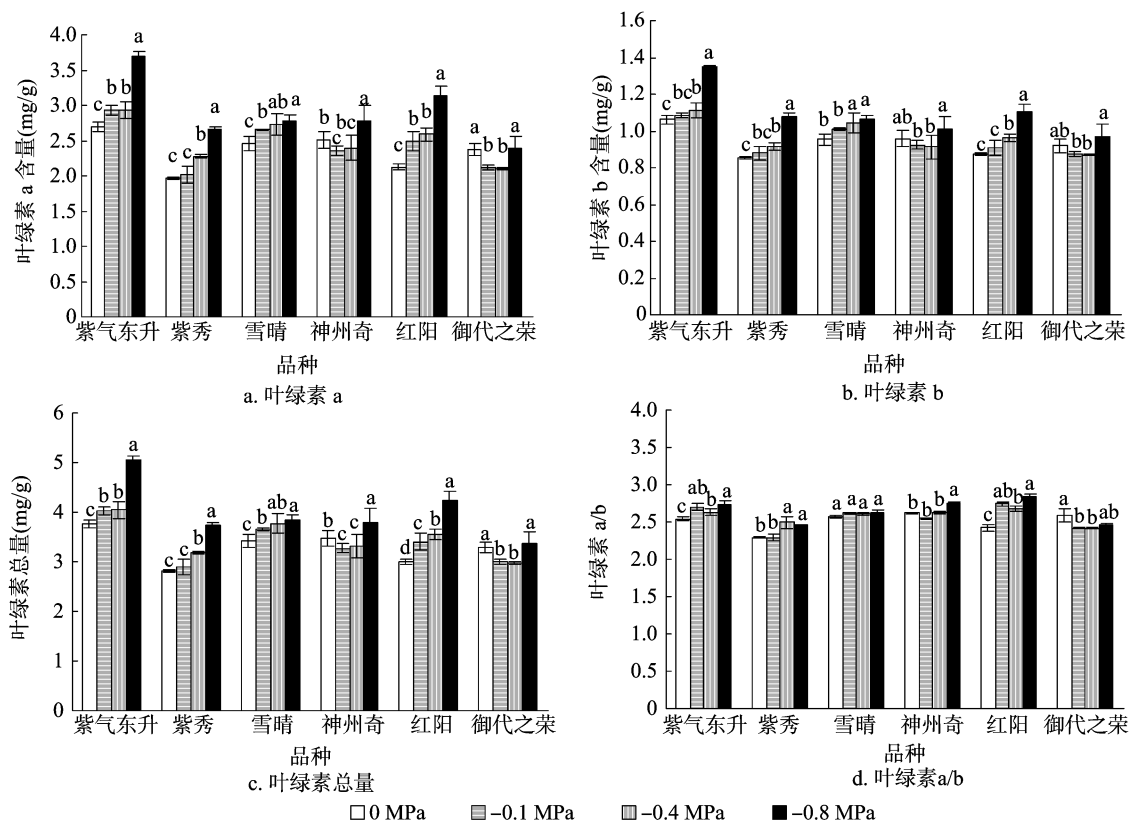
干旱处理 (MPa)	植株萎蔫度(%)					
	紫气东升	紫秀	雪晴	神州奇	红阳	御代之荣
-0.1	0.713	11.416	4.950	5.043	12.259	13.676
-0.4	7.875	21.421	9.679	14.102	11.372	19.452
-0.8	11.570	33.660	18.373	22.072	22.295	33.652

2.1.2 对叶片叶绿素含量的影响 在干旱胁迫下,杜鹃叶片的叶绿素含量基本是随着胁迫程度的加剧而增加(图1)。在-0.1、-0.4 MPa处理下,神州奇、御代之荣的叶绿素总量与对照相比显著下降。在-0.8 MPa重度干旱胁迫下,除雪晴外的杜鹃品种的叶绿素含量与-0.1、-0.4 MPa胁迫相比显著增加。在不同程度的干旱处理下,各杜鹃品种的叶绿素a/b的值变化不一,其中御代之荣在胁迫下叶绿素a/b的值与对照相比明显下降,因为活性氧对叶绿素a影响较叶绿素b强,说明此时御代之荣有可能受到活性氧的伤害,抵御干旱胁迫的能力下降。

2.1.3 对叶片叶绿素荧光动力学参数的影响 在干旱胁迫下,紫秀、红阳、御代之荣的实际光化学量子产量[Y(II)]、光化学淬灭系数(q_p)与表观光合电子传递速率(ETR)随着胁迫程度的加剧呈逐渐下降的趋势(图2);而与对照相比,在-0.1 MPa轻度干旱条件下,雪晴、神州奇的Y(II)、 q_p 与ETR与对照相比均有增加。在-0.8 MPa重度胁迫下,紫秀、御代之荣、红阳、神州奇的Y(II)、 q_p 与ETR与对照相比均显著降低,说明在严重胁迫下光合电子传递过程受到抑制或破坏,反应中心开放程度降低,受害严重。各品种的非光化学淬灭系数(q_n)变化不一,除红阳外的其他杜鹃品种在-0.8 MPa重度胁迫下其 q_n 与对照相比均显著下降。与对照相比,红阳的 q_n 在不同程度干旱胁迫下均显著升高,-0.4 MPa处理的增幅最大。

2.1.4 对叶片细胞膜透性的影响 由图3可知,随着干旱胁迫程度的加剧,除神州奇外的供试品种的相对电导率上升,细胞膜透性不断增大。6个品种在不同程度的干旱胁迫下,御代之荣受害严重,与对照相比增幅最大,为对照的1.57~2.02倍,且差异显著性。雪晴在不同程度的干旱处理后,与对照相比细胞膜透性总体变化较小,受害程度相对较轻。

2.1.5 对叶片丙二醛(MDA)含量的影响 在干旱胁迫下,



不同字母表示同一品种不同处理间差异显著 ($P < 0.05$)。下图同

图1 干旱胁迫下杜鹃叶片光和色素含量的变化

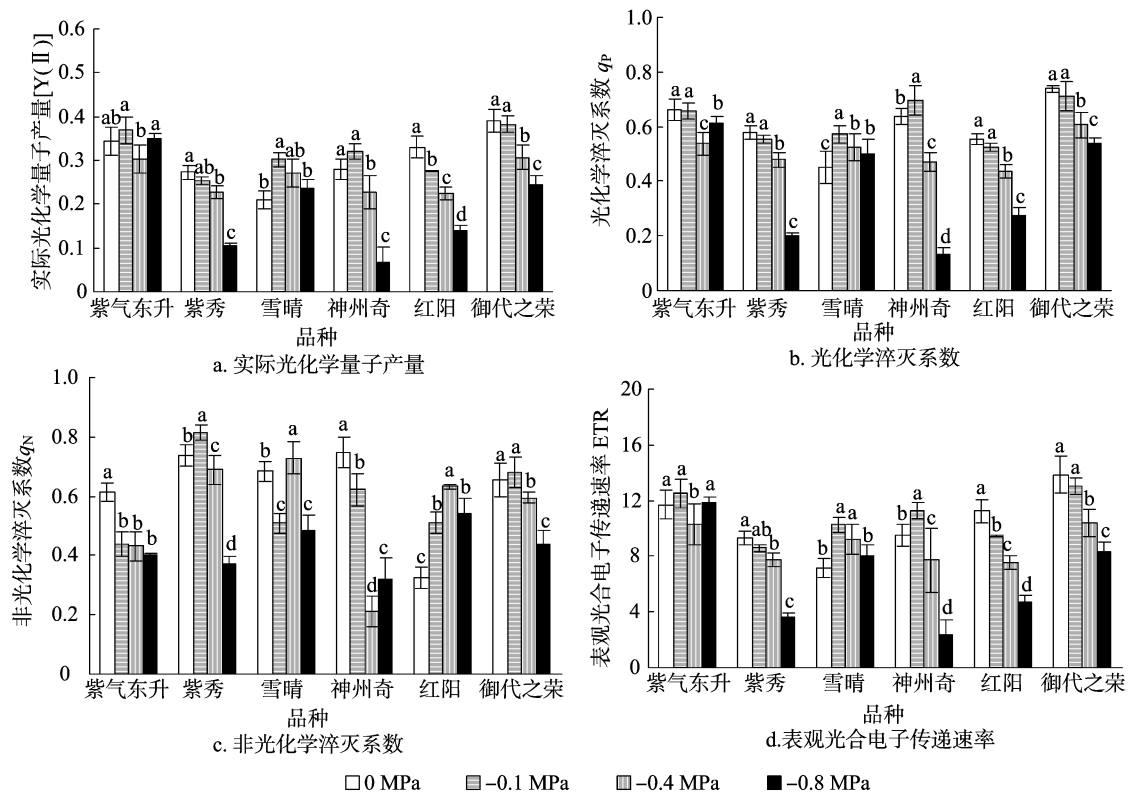


图2 干旱胁迫下杜鹃叶片叶绿素荧光动力学参数的变化

杜鹃叶片的 MDA 含量不断积累,除紫气东升和神州奇外其他品种 MDA 含量均随着胁迫程度的加剧而增加(图 4)。与

对照相比,6 个品种在 -0.8 MPa 胁迫下 MDA 含量均显著增加,说明在严重干旱胁迫下杜鹃植株细胞膜过氧化程度加重,

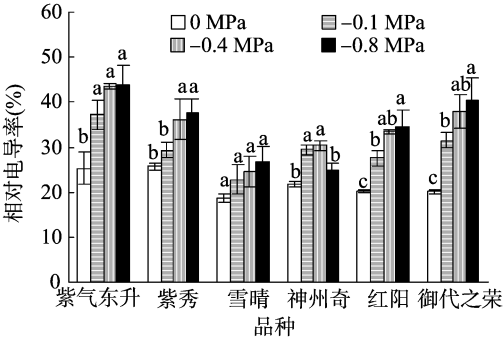


图3 干旱胁迫下杜鹃叶片相对电导率的变化

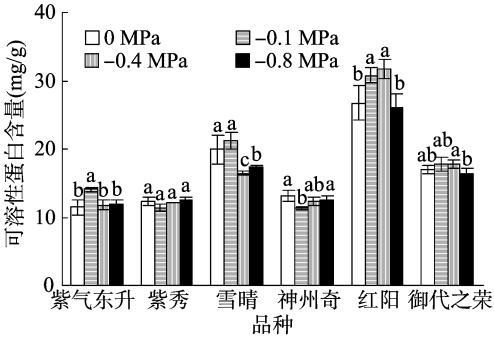


图5 干旱胁迫下杜鹃叶片可溶性蛋白含量的变化

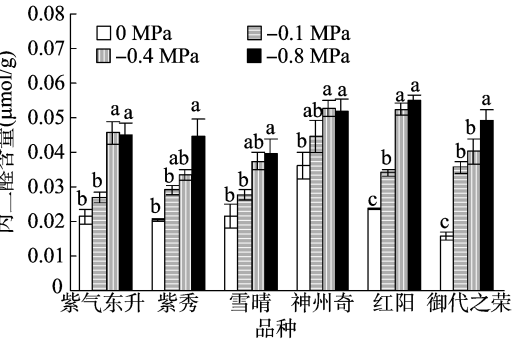


图4 干旱胁迫下杜鹃叶片丙二醛含量的变化

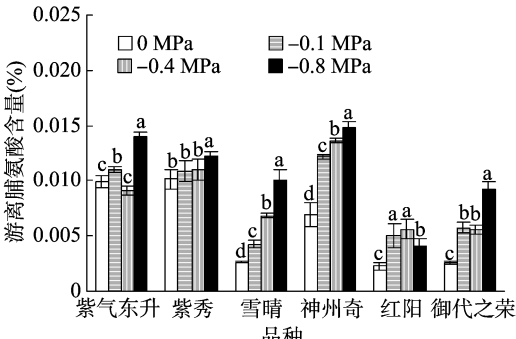


图6 干旱胁迫下杜鹃叶片游离脯氨酸含量的变化

受害程度加深。在不同程度的干旱胁迫下,与对照相比,御代之荣 MDA 含量的增幅最大,为对照的 2.25 ~ 3.11 倍,受害严重,抗旱能力较差。

2.1.6 对叶片渗透调节物质的影响 从图 5 可知,随着胁迫程度的加剧,紫气东升、雪晴、红阳与御代之荣的可溶性蛋白含量基本呈先增后减的趋势;紫秀、御代之荣的 3 个胁迫处理与对照没有显著性差异。红阳的可溶性蛋白含量高于其他品种,植株自身保水能力强,抗性较强。在 -0.1 MPa 胁迫下,与对照相比紫气东升可溶性蛋白含量增加增幅最大,增加 22.94%;在 -0.4 MPa 胁迫下,与对照相比,红阳的增幅最大,其可溶性蛋白含量增加 18.76%。在 -0.8 MPa 胁迫下,与对照相比,雪晴可溶性蛋白含量的降幅最大,抵御干旱能力下降。

由图 6 可知,在不同程度干旱胁迫下,除紫气东升外的杜

鹃品种游离脯氨酸含量与对照相比均有所增加。除紫秀外,与对照相比其他品种在 -0.1 MPa 胁迫下游离脯氨酸含量显著增加,其抵御干旱能力增强。在 -0.4、-0.8 MPa 胁迫下,与对照相比雪晴的脯氨酸含量增幅最大,分别是对照的 2.6、3.82 倍,紫秀总体增幅最小,仅为对照的 1.07 ~ 1.21 倍,抵御干旱能力较弱。

2.2 不同杜鹃品种抗旱性的综合评价

6 个杜鹃品种的抗旱隶属平均值越大,其抗旱能力越强。由表 2 可知,6 个杜鹃品种的抗旱能力排序为紫气东升 > 雪晴 > 红阳 > 神州奇 > 御代之荣 > 紫秀。抗旱性越强的杜鹃品种,植株受害程度越轻。在干旱胁迫下,紫气东升植株整体受害程度较轻,雪晴次之,御代之荣、紫秀植株受害程度较为严重,出现严重的萎蔫现象,并伴随着干枯与掉叶。这与隶属函数法评价的结果较为相近。

表 2 6 个杜鹃品种各项生理指标的抗旱隶属函数值

品 种	隶属函数值													排名
	叶绿素 a 含量	叶绿素 b 含量	叶绿素 总量	叶绿素 a/b	实际光化学 量子产量	光化学 淬灭系数	非光化学 淬灭系数	光合电子 传递速率	相对 电导率	丙二醛 含量	可溶性 蛋白含量	游离脯 氨酸含量	平均值	
紫气东升	0.696	0.649	0.684	0.725	0.773	0.817	0.352	0.772	0.109	0.561	0.063	0.683	0.574	1
紫秀	0.179	0.182	0.176	0.223	0.362	0.486	0.685	0.363	0.448	0.683	0.036	0.685	0.376	6
雪晴	0.420	0.354	0.403	0.589	0.572	0.693	0.603	0.572	0.908	0.710	0.345	0.277	0.537	2
神州奇	0.293	0.164	0.261	0.633	0.483	0.520	0.286	0.483	0.740	0.187	0.037	0.884	0.414	4
红阳	0.430	0.254	0.389	0.843	0.411	0.486	0.579	0.410	0.567	0.277	0.891	0.077	0.468	3
御代之荣	0.112	0.074	0.100	0.257	0.690	0.843	0.598	0.689	0.341	0.474	0.295	0.259	0.394	5

3 讨论与结论

干旱对植物生长发育会产生严重影响[8]。叶绿素是植物进行光合作用最重要的物质,反映了植物的光合能力[9]。一般情况下,随着干旱胁迫时间的增加,叶绿体结构受到破

坏,叶绿素发生降解,导致含量降低[10]。而本试验中,PEG 干旱处理使得紫气东升、雪晴、紫秀、红阳的叶绿素 a 含量、叶绿素 b 含量、叶绿素总量与对照相比有所增加。郝树荣等指出,在短时干旱下,不论是轻度胁迫还是重度胁迫,叶绿素含量会升高,而在长时间胁迫下含量会降低,其原因可能是胁迫初期

叶片含水量降低会产生浓缩作用,胁迫后期,活性氧累积导致叶绿素分解加速,含量下降^[11]。这与何丽斯等的研究结果^[12]一致。在 6 个杜鹃品种中,抗旱性较弱的品种为御代之荣,其叶绿素 a 含量、叶绿素总量、叶绿素 a/b 值与对照相比均显著下降。

叶绿素荧光参数是研究植物光合生理与逆境胁迫的内在探针^[13]。许多研究人员都对逆境胁迫下叶绿素荧光动力学参数的变化进行了深入的探讨。在干旱胁迫下,植物光合电子传递过程会受到抑制或破坏,反应中心开放程度降低,导致量子产量、电子传递速率降低^[14]。本试验发现,抗旱性较强的雪晴的 $Y(II)$ 、 q_P 与 ETR 虽然随着胁迫程度的加剧逐渐下降,但与对照相比仍有上升;而随着胁迫程度的加剧,抗旱性弱的品种紫秀、御代之荣、红阳、神州奇在 -0.8 MPa 胁迫下与对照相比其 $Y(II)$ 、 q_P 、ETR 均显著下降。非光化学淬灭是指 PS II (photosystem II, 光系统 II) 可以通过提高非辐射性热耗散消耗吸收的过量光能,从而保护中心免受破坏^[15]。6 个杜鹃品种的 q_N 变化不一,在重度干旱胁迫下与对照相比均显著下降,抗旱性较弱的品种神州奇的降幅最大。

细胞膜透性和膜脂过氧化程度可以反映植物在干旱胁迫下的受害程度^[16]。干旱胁迫使得细胞内物质大量外渗,电导率增大,活性氧代谢系统紊乱,细胞膜脂过氧化程度加深,从而影响细胞膜结构与功能^[17-18]。本试验发现,紫秀、雪晴、御代之荣、红阳的相对电导率和 MDA 含量随着胁迫程度的加剧不断升高。抗旱性强的品种雪晴在受到不同程度干旱胁迫后,其相对电导率与对照相比无显著变化,而抗旱性弱的品种御代之荣增幅最大。

植物在干旱胁迫时,体内会积累大量代谢物质,调节细胞内外渗透压平衡,减轻胁迫造成的伤害^[19]。可溶性蛋白的增加能提高细胞的保水能力,游离脯氨酸的积累能使植物组织的抗脱水能力加大,还有清除自由基等作用,减轻干旱对植物细胞的损伤^[20-21]。6 个品种的可溶性蛋白含量总体变化较小,其中抗旱性较强的紫气东升、红阳在轻度胁迫 (-0.1 MPa) 下与对照相比可溶性蛋白含量显著上升。在干旱胁迫下,6 个杜鹃品种的脯氨酸含量大量地增加,这与多数研究结果^[22-23]一致。抗旱性较强的紫气东升本身的游离脯氨酸含量也较高,雪晴在受到胁迫后增幅最大,抗旱性较弱的紫秀增幅最小。

不同的杜鹃品种在干旱胁迫下的生理反应有所差异,因此须要采用多项指标来综合评价杜鹃品种的抗旱性。利用隶属函数法对 6 个杜鹃品种进行评价,结果为紫气东升 > 雪晴 > 红阳 > 神州奇 > 御代之荣 > 紫秀,这与表型变化观察的结果较为相近。抗旱性强的品种因其耐旱、可粗放管理的特性在城市绿化中的应用领域十分广泛,可应用于福州市公路绿化、城乡交错带绿化等^[24],丰富城市绿化景观的同时,提高资源利用率,实现城市绿化的可持续发展^[25]。

参考文献:

- [1] 朱春艳. 杜鹃花资源及其园林应用研究[D]. 杭州:浙江大学,2008.
- [2] 耿兴敏,胡才民,杨秋玉,等. 杜鹃花对各种非生物逆境胁迫的抗性研究进展[J]. 中国野生植物资源,2014,33(3):18-21.

- [3] Michel B E, Kaufmann M R. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000[J]. Plant Physiology,1973,51(5):914-916.
- [4] 朱广廉. 植物生理学实验[M]. 北京:北京大学出版社,1990.
- [5] 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.
- [6] 陈爱葵,韩瑞宏,李东洋,等. 植物叶片相对电导率测定方法比较研究[J]. 广东教育学院学报,2010,30(5):88-91.
- [7] Huang C L, Chen X, Gao G. Physiological response of seedlings of three azalea species of drought stress and evaluation of drought resistance[J]. Scientia Silvae Sinicae,2011,47(6):48-55.
- [8] 鲁松. 干旱胁迫对植物生长及其生理的影响[J]. 江苏林业科技,2012,39(4):51-54.
- [9] 范君华,刘明. 不同叶型零式果枝海岛棉叶片光合色素特性比较[J]. 中国棉花,2006,33(4):11-12.
- [10] 闫志利,牛俊义. 作物对干旱胁迫的响应机制研究进展[J]. 河北农业科学,2009,13(4):6-10.
- [11] 郝树荣,郭相平,王为木,等. 水稻拔节期水分胁迫及复水对叶片叶绿体色素的影响[J]. 河海大学学报(自然科学版),2006,34(4):397-400.
- [12] 何丽斯,苏家乐,刘晓青,等. 模拟干旱胁迫对高山杜鹃光合生理特性的影响[J]. 苏州科技大学学报(自然科学版),2011,28(4):62-66.
- [13] 温国胜,田海涛,张明如,等. 叶绿素荧光分析技术在林木培育中的应用[J]. 应用生态学报,2006,17(10):1973-1977.
- [14] 孙志勇. 杂交鹅掌楸不同无性系对水分胁迫的响应[D]. 南京:南京林业大学,2007.
- [15] 姚春霞. 干旱胁迫及复水条件下玉米根系吸水能力的变化[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2012.
- [16] Dhindsa R S, Plumb - Dhindsa P, Thorpe T A. Leaf senescence: correlated with increased levels of membrane permeability and lipid peroxidation, and decreased levels of superoxide dismutase and catalase[J]. Journal of Experimental Botany,1981,32(126):93-101.
- [17] 毕会涛,黄付强,邱林,等. 干旱胁迫对灰枣保护性酶活性及膜脂过氧化的影响[J]. 中国农学通报,2007,23(2):151-155.
- [18] 师进霖,陈恩波,姜跃丽. PEG6000 渗透胁迫对甜瓜幼苗叶片渗透调节物质及膜脂过氧化的影响[J]. 西北农业学报,2010,19(1):182-185.
- [19] 李清明. 温室黄瓜(*Cucumis sativus* L.) 对干旱胁迫与 CO₂ 浓度升高的响应与适应机理研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2008.
- [20] 张彤,齐麟. 植物抗旱机理研究进展[J]. 湖北农业科学,2005(4):107-110.
- [21] Handa S, Handa A K, Hasegawa P M, et al. Proline accumulation and the adaptation of cultured plant cells to water stress[J]. Plant Physiology,1986,80(4):938-945.
- [22] 马青枝,李槌哲. 干旱胁迫下苜蓿体内游离脯氨酸的累积[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版),1992(4):137-140.
- [23] 刘晓松. 三叶草在干旱胁迫下的生理反应研究[D]. 济南:山东师范大学,2009.
- [24] 杨丽娟. 重庆市耐旱园林植物的调查筛选及应用研究[D]. 重庆:西南大学,2009.
- [25] 梁麦香. 节水耐旱园林观赏植物在园林中的应用分析研究[J]. 科技致富向导,2014(17):302-302.