

张永侠,原海燕,顾春笋,等.红籽鸢尾(*Iris foetidissima* L.)的抗旱性[J].江苏农业科学,2014,42(8):174-177.

红籽鸢尾(*Iris foetidissima* L.)的抗旱性

张永侠^{1,2},原海燕¹,顾春笋¹,黄苏珍¹

(1.江苏省·中国科学院植物研究所/南京中山植物园,江苏南京 2100141; 2.南京农业大学园艺学院,江苏南京 210095)

摘要:以红籽鸢尾为试验材料,采用自然干旱胁迫的方法,对红籽鸢尾的土壤临界含水量、叶片相对含水量、叶绿素含量、相对电导率、游离脯氨酸(PRO)含量、丙二醛(MDA)含量、超氧化物歧化酶(SOD)活性及可溶性蛋白含量 8 个抗旱指标进行测定,将红籽鸢尾与鸢尾属其他 6 种植物的土壤临界含水量进行对比,结果发现,红籽鸢尾的抗旱性仅次于德国鸢尾和鸢尾,抗旱能力强于马蔺。对红籽鸢尾的 SOD 活性、相对电导率、PRO 含量、相对含水量、MDA 含量、可溶性蛋白含量和叶绿素含量 7 个与抗旱有关的生理生化指标进行主成分分析,结果表明,各指标间具有较好相关性,并可以通过 2 个主成分把红籽鸢尾抗旱性 98.48% 的信息反映出来。采用隶属函数法对红籽鸢尾的抗旱性进行综合评价,结果发现,红籽鸢尾的抗旱性比马蔺弱,与通过土壤临界含水量的结果有差异,说明植物抗旱性是通过多种指标协同(包括植物形态学等特性)综合表现出来的。

关键词:红籽鸢尾;抗旱性;隶属函数法;主成分分析;抗旱地被植物;生理生化指标

中图分类号: S682.1+90.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2014)08-0174-04

红籽鸢尾(*Iris foetidissima* L.)为鸢尾科鸢尾属多年生草本植物,原产于西欧和非洲北部等地,其花淡紫色似蝴蝶,叶剑形深绿色,蒴果饱满,种子橙红色且颜色亮丽,是一种集观花、观叶和观果为一体的具有较高观赏价值的植物;另外,该物种还具有耐寒性好、在我国长江中下游及以南地区四季常绿、适应性强、管理粗放等优点,是一种难得的常绿地被植物。

收稿日期:2013-11-04

基金项目:江苏省科技支撑计划(编号:BE2012349)。

作者简介:张永侠(1987—),女,安徽阜阳人,硕士,主要从事观赏植物遗传育种研究。E-mail:zhangyongxia8712@163.com。

通信作者:黄苏珍。E-mail:hsz1959@163.com。

低温冷冻贮藏的温度大概在 -20 ~ -15 ℃。一般来说,花粉冷冻贮藏比冷藏效果好,如西南桦花粉在 -20 ℃ 下干燥贮藏效果最佳^[8];杨传友等发现 12 种果树 14 个品种的花粉在冷冻室的贮藏效果比冷藏室好,花粉萌发率可提高 7.5% ~ 27.2%^[9]。超低温(-80 ℃)能最大限度地抑制生理代谢强度,Knowlton 第 1 次报道了 -180 ℃ 贮存后的金鱼草(*Antirrhinum majus*)花粉仍具有生活力,降低花粉含水量能够提高冰冻保存的生存率^[10],目前已经进行了 30 多种植物花粉的超低温保存研究^[11]。对长春花花粉进行冷冻低温贮藏(-5 ℃)和超低温(-80 ℃)贮藏,结果表明,0 ℃ 以下低温不利于常规处理花粉的保存,冷冻贮藏 1 h 即丧失活力,而对于干燥真空贮藏的花粉则能起到延长保存时间的作用。

参考文献:

- [1] Hirata K, Yamanaka A, Kurano N, et al. Production of indole alkaloids in multiple shoot culture of *Catharanthus roseus* (L) G. Don. [J]. Agricultural and Biological Chemistry, 1987, 51(5): 1311-1317.
- [2] 杨玉敏,元英进,胡宗定.正交试验法优化长春花分化培养基

水分是影响植物生长发育的环境因素之一,水分亏缺对植物的影响是非常广泛而深刻的^[1]。现代丰富多样的园林绿化植物都需要大量的水资源作为保障,我国大部分地区的水资源相对匮乏,因此,筛选兼具良好观赏性状和抗旱节水新型绿化地被的植物种类,对其应用于城镇绿地等生态环境建设有着非常重要的意义^[2],植物的抗旱性是其干旱环境下生长和繁殖的必需特性,是多种因素综合作用的结果,干旱胁迫会引起植物从内到外发生一系列的生理生化及形态上的变化^[3]。笔者通过对红籽鸢尾与抗旱性有关的土壤临界含水量、叶片相对含水量、叶绿素含量、相对电导率、游离脯氨酸(PRO)含量、丙二醛(MDA)含量、超氧化物歧化酶(SOD)活性及可溶性蛋白含量等 8 个指标的研究,旨在对具有高观赏

- [J]. 天然产物研究与开发,1993,5(3):34-37.
- [3] 黄勇,郭善利,钱关泽,等.长春花的组织培养与快速繁殖[J].植物生理学通讯,2000,36(1):39.
- [4] 郭胜娟.长春花细胞培养与快速繁殖的初步研究[D].武汉:华中农业大学,2004.
- [5] 王少先,李普安,乔明亮.蔬菜作物花粉生物学特性的研究——I:丝瓜花粉的萌发特性[J].洛阳农专学报,1995,2(1):22-27.
- [6] 史桂荣.玉米花粉生活力的研究[J].黑龙江农业科学,1996(2):13-15.
- [7] 王庆美,郝光辉,王大箴,等.甘薯花粉离体萌发及不同保存方法对其生活力的影响[J].莱阳农学院学报,1996,13(3):28-31.
- [8] 程伟,赵志刚,郭俊杰,等.西南桦花粉低温贮藏试验初报[J].浙江林业科技,2007,27(6):49-52.
- [9] 杨传友,毕杰,杨先栋.十二种果树花粉贮藏试验[J].果树科学,1994,11(2):103-104.
- [10] Lwanami Y. Storage in an organic solvent as a mean for preserving viability pollen grain[J]. Stain Technology, 1972, 47(4): 137-139.
- [11] 赵树仁,武丽英,姚民昌,等.番茄花粉超低温保存的研究[J].园艺学报,1993,20(1):66-70.

价值的植物红籽鸢尾的抗旱性进行综合评价,为其应用特别是作为抗旱地被的应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

红籽鸢尾于 2010 年引自法国,现定植保存于江苏省·中国科学院植物研究所鸢尾属活植物种质圃,试验材料为无性系自然结实种子的实生苗。

1.2 试验处理

2012 年 7 月中旬将一年生红籽鸢尾实生苗移栽到塑料花盆中(口径 25 cm×高度 20 cm),每盆栽培壤土均为 4 kg,每盆种植 3 株,共种植 60 盆。栽培好缓苗一段时间,在处理之前要一次性浇透水,保持每盆土壤含水量一致。取 40 盆生长整齐一致、有代表性的置于温室中,同时饱和性灌水 1 次后,其中 20 盆停止浇水,另 20 盆正常浇水作为对照。采取自然干旱的方式对盆栽鸢尾进行连续干旱胁迫,干旱胁迫当天第 1 次取样,之后每隔 7 d 取 1 次样,在干旱胁迫后 0、7、14、21、28、35 d 共取 6 次样,重复 3 次,取样时间均为 09:30。

1.3 试验方法

1.3.1 土壤临界含水量的测定方法 土壤临界含水量的测定参照崔娇鹏的方法^[4],各临界状态分别为:A. 正常生长(植株挺立、叶片平展、叶色正常,没有萎蔫症状);B. 暂时性萎蔫(叶片脱水萎蔫、下垂、叶缘卷曲,但经过夜间低温或给水后能够自行恢复正常状态);C. 永久性萎蔫(萎蔫症状同上,只是程度更深,叶片边缘枯焦,经夜晚低温或给水无法自行恢复正常状态)。观察处理植株,在其正常生长、暂时性萎蔫和永久性萎蔫 3 个临界期取栽培土,取样时间选在 16:00—17:00,取样深度为 5 cm,将样品带回实验室进行土壤含水量的测定,土壤含水量采用烘干法测定^[5]。

1.3.2 植物生理生化指标测定方法 叶片相对含水量采用饱和称重法进行测定^[6];叶绿素含量采用 80% 丙酮浸提比色法测定^[7];叶片细胞膜相对透性采用电导法进行测定^[8];MDA 含量采取硫代巴比妥酸法进行测定^[6];PRO 含量采用茚三酮法进行测定^[6];可溶性蛋白含量的测定采用考马斯亮蓝法^[9];SOD 活性采用氮蓝四唑(NBT)法测定^[10]。

1.4 试验数据处理及抗旱性评定方法

试验数据均采用 Excel 进行整理;选用统计分析软件 SPSS 19.0 对数据进行主成分分析;采用模糊隶属函数对红籽鸢尾抗旱性进行综合评价。

2 结果与分析

2.1 干旱胁迫对土壤临界含水量的影响

土壤临界含水量能比较直观地反映出植株的耐旱能力,暂时性萎蔫土壤临界含水量越低,说明该物种的抗旱能力越强^[4]。对于具有观赏价值的鸢尾属植物,土壤临界含水量在其灌溉用水上具有一定的参考价值。把红籽鸢尾的土壤临界含水量与王子凤对其他 6 种鸢尾属植物土壤临界含水量的试验结果^[11]进行对照可以得出,红籽鸢尾的抗旱性比德国鸢尾和鸢尾弱,但比马蔺的抗旱性强(表 1)。

2.2 干旱胁迫对红籽鸢尾叶片生理生化指标的影响

叶片相对含水量变化速率是反映植物抗旱能力的重要指

表 1 鸢尾属 6 种植物土壤临界含水量的测定情况

试验材料	正常生长下限 (%)	暂时萎蔫下限 (%)	永久萎蔫下限 (%)
红籽鸢尾	7.2(26 d)	5.6(48 d)	4.0(60 d)
鸢尾	6.3(28 d)	4.1(48 d)	
德国鸢尾	7.5(35 d)		
马蔺	7.8(20 d)	7.5(25 d)	6.6(28 d)
黄菖蒲	10(10 d)	8.8(15 d)	7.6(20 d)
溪荪	15.3(5 d)	11.9(10 d)	10.8(14 d)
花菖蒲	10.7(15 d)	7.9(20 d)	7.2(28 d)

注:除红籽鸢尾以外的 6 种植物的数据引自文献[11]。

标之一^[10],由表 2 可知,红籽鸢尾的相对含水量在干旱胁迫后 21 d 下降了 23.53%,在干旱胁迫后 35 d 下降了 37.16%。叶绿体是光合作用的场所,是植物特有的能量转换细胞器,叶绿体含 75% 的水分,植物受到干旱胁迫时,由于失水严重,会破坏细胞质,叶绿素也会发生降解^[12]。随着干旱胁迫的持续,红籽鸢尾的叶绿素含量逐渐降低。干旱对植物细胞的伤害最直接、最明显的表现是导致细胞膜系统稳定性降低、透性增加,如细胞内无机离子和可溶性糖等电解质外渗导致相对电导率增加^[13],细胞膜的破坏又与细胞膜过氧化作用的增强有关^[12]。MDA 是膜脂过氧化的主要产物,其含量的高低恰好反映了植物受干旱胁迫伤害的程度^[14]。细胞膜的破坏还与胁迫下植物产生的大量活性氧有密切关系,而 SOD 具有清除活性氧的作用,因此 SOD 活性也反映了植物的抗旱能力。这 3 个指标都与细胞膜在胁迫下受到的损伤有关。相对电导率和 MDA 含量逐渐增加,尤其在干旱胁迫后 21 d 迅速增加,分别是对照的 1.99、2.50 倍;而 SOD 的活性是先增强后减弱,在干旱胁迫后 21 d 时活性最强,然后减弱,说明在胁迫初期植物体会产生大量的 SOD 来减轻胁迫对植物的伤害,随着胁迫的持续,水分亏缺严重,SOD 活性下降,植物体损伤严重。干旱胁迫下 PRO 作为渗透调节物质的积累,对维持植株体内水分平衡有着积极作用^[12]。在干旱胁迫后 0~14 d,PRO 含量增加比较平缓;在 14~21 d,PRO 含量急剧增加,是对照的 11.7 倍,说明在干旱胁迫后 14~21 d 这个时间段植物体内的渗透压有很大的变化。植物在受到干旱胁迫时会产生可溶性蛋白,这些蛋白既能参与水分的运输和吸收,又能增加植物耐脱水能力,对细胞起保护作用。在干旱胁迫时,红籽鸢尾可溶性蛋白含量先增加,在干旱胁迫后 21 d 时达到最高,之后开始下降。

2.3 生理生化指标间的主成分分析

对持续干旱过程中所得到的红籽鸢尾各项生理生化指标作标准化处理,将 SOD 活性、相对电导率、PRO 含量、相对含水量、MDA 含量、可溶性蛋白含量和叶绿素含量 7 个生理生化指标的相关分析,得到相关系数矩阵,结果见表 3。由表 3 可知,相对含水量与相对电导率、PRO 含量及 MDA 含量均呈极显著负相关,同时与叶绿素含量呈极显著正相关;相对电导率除与相对含水量呈极显著负相关,还与叶绿素含量呈极显著负相关,与 PRO 含量和 MDA 含量呈极显著正相关;PRO 与叶绿素含量呈极显著负相关,这说明随着干旱的持续,水分亏缺越来越严重,导致细胞膜受到损伤,透性增大,内含物外渗增强,水分的亏缺也加速了叶绿素的降解。SOD 活性与可溶

表 2 干旱胁迫下红籽鸢尾叶片生理生化指标的变化

干旱胁迫 时间(d)	叶片相对含水量(%)		叶绿素含量(mg/g)		相对电导率(%)		MDA 含量(nmol/g)	
	正常生长	干旱胁迫	正常生长	干旱胁迫	正常生长	干旱胁迫	正常生长	干旱胁迫
0	80.78	80.15	3.67	3.64	19.27	20.24	5.97	6.21
7	80.37	75.51	3.53	3.37	21.03	25.2	6.15	8.45
14	79.35	64.34	3.71	3.13	22.34	32.35	6.02	10.34
21	80.18	56.52	3.42	2.69	23.02	40.27	6.18	15.54
28	77.98	47.45	3.61	2.45	21.07	49.9	6.24	20.43
35	78.54	42.99	3.59	2.24	22.81	50.94	6.19	22.45

干旱胁迫 时间(d)	SOD 活性(U/g)		PRO 含量(μg/g)		可溶性蛋白含量(mg/g)	
	正常生长	干旱胁迫	正常生长	干旱胁迫	正常生长	干旱胁迫
0	332.56	334.35	27.87	29.12	2.26	2.32
7	335.13	361.53	25.63	38.43	2.37	2.56
14	327.16	399.32	19.13	56.78	2.23	2.82
21	331.76	462.13	34.88	340.23	2.34	3.74
28	338.45	406.71	27.13	440.6	2.34	3.02
35	341.76	376.25	30.21	400.25	2.25	2.71

表 3 红籽鸢尾 7 个生理生化指标的相关分析结果

抗旱指标	相关系数						
	SOD 活性	相对电导率	PRO 含量	相对含水量	MDA 含量	可溶性蛋白含量	叶绿素含量
SOD 活性	1.000						
相对电导率	0.530	1.000					
PRO 含量	0.561	0.950 **	1.000				
相对含水量	-0.533	-0.996 **	-0.930 **	1.000			
MDA 含量	0.453	0.991 **	0.958 **	-0.985 **	1.000		
可溶性蛋白含量	0.986 **	0.500	0.579	-0.497	0.438	1.000	
叶绿素含量	-0.548	-0.993 **	-0.946 **	0.993 **	-0.990 **	-0.526	1.000

注: ** 表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关。

性蛋白含量呈极显著正相关,说明氧自由基对细胞膜损害的同时,植物体会产生大量的可溶性蛋白作为保水胶体物质。同时,说明有些指标之间虽然相关不显著,但是各个单项指标之间仍然存在着一定的相关关系,它们反映的信息在一定程度上会产生重叠的效应,因此经过主成分分析将原始指标经过转换组合得出较少的综合指标,能够较好地反映出它们与抗旱性的关系。

主成分的特征值和贡献率是选择主成分的依据,将红籽鸢尾的 7 个与抗旱有关的指标转化为 7 个主成分,结果见表 4。由表 4 可以看出,前 2 个主成分的累积方差贡献率为 98.48%,表明前 2 个主成分已经把红籽鸢尾抗旱性 98.48% 的信息反映出来了,因此可以选取前 2 个主成分作为红籽鸢尾抗旱性评价的综合指标。第一主成分的特征值为 5.63,贡献率为 80.37%。其中,叶片相对含水量、叶绿素含量、相对电导率、PRO 含量和 MDA 含量这 5 个变量的绝对值较大,说明第一主成分表示红籽鸢尾抗旱能力的综合因子。第二主成分的特征值为 1.27,贡献率为 18.11%。对应较大的变量有 SOD 活性和可溶性蛋白含量这 2 个变量,所以第二主成分主要与可溶性蛋白含量和 SOD 活性有关。

2.4 抗旱性隶属函数分析方法综合评价红籽鸢尾的抗旱性

隶属函数法即消除了个别指标带来的片面性,又由于隶属函数值是[0,1] 闭区间上的纯数,使各参试材料的抗旱性差异具有可比性,是一种比较可靠的评价方法^[10]。应用隶属函数分析方法^[10]对鸢尾属 7 种植物的抗旱性强弱进行综合

表 4 干旱胁迫过程中叶片生理生化指标主成分分析结果

指标	所占比例	
	第一主成分	第二主成分
SOD 活性	0.69	0.71
叶绿素含量	-0.98	0.19
相对电导率	0.97	-0.21
PRO 含量	0.96	-0.12
叶片相对含水量	-0.97	0.21
MDA 含量	0.96	-0.29
可溶性蛋白含量	0.68	0.73
特征值	5.63	1.27
贡献率	80.37%	18.11%
累计贡献率	80.37%	98.48%

评定,结果见表 5。从表 5 可以看出,鸢尾属 7 种植物的抗旱能力由强到弱依次为德国鸢尾>鸢尾>马蔺>红籽鸢尾>花菖蒲>黄菖蒲>溪荪。

3 结论与讨论

土壤临界含水量不仅可以说明抗旱性的强弱,对园林植物的应用和养护管理也有着很强的指导意义^[15]。本试验结果显示,红籽鸢尾正常生长、暂时萎蔫和永久萎蔫的土壤临界含水量分别为 7.2%、5.6%、4.0%,仅次于抗旱性较强的德国鸢尾和鸢尾,德国鸢尾正常生长的土壤临界含水量为 7.5%,鸢尾的正常生长和暂时萎蔫的土壤临界含水量为 6.3%

表 5 鸢尾属 7 种植物抗旱性综合评价

植物	隶属函数值								排序
	SOD 活性	相对电导率	PRO 含量	相对含水量	MDA 含量	可溶性蛋白含量	叶绿素含量	平均值	
红籽鸢尾	0.44	0.53	0.55	0.51	0.47	0.41	0.51	0.49	4
鸢尾	0.54	0.61	0.66	0.55	0.59	0.57	0.52	0.58	2
德国鸢尾	0.63	0.69	0.51	0.68	0.63	0.50	0.63	0.61	1
马蔺	0.55	0.57	0.51	0.41	0.52	0.54	0.52	0.51	3
黄菖蒲	0.31	0.55	0.50	0.45	0.40	0.45	0.40	0.44	6
溪荪	0.38	0.45	0.27	0.47	0.50	0.40	0.50	0.41	7
花菖蒲	0.41	0.53	0.39	0.47	0.48	0.40	0.48	0.48	5

注:除红籽鸢尾以外的 6 种植物的数据引自文献[11]。

6.3%和4.1%，且红籽鸢尾和鸢尾2种植物达到各临界点的时间相同。说明红籽鸢尾的抗旱性与鸢尾接近,属于抗旱性较强的植物。叶片相对含水量能较好地反映植物在干旱胁迫下水分亏缺程度。抗旱性强的植物,由于叶片的保水能力强或根系的吸水能力强,在干旱胁迫下其相对含水量下降缓慢,而抗旱性差的植物相对含水量下降较快。红籽鸢尾的相对含水量在干旱胁迫后21 d下降了23.53%,韩玉林等对其他几种鸢尾属植物的研究结果^[2]为在干旱胁迫20 d时德国鸢尾相对含水量下降16.37%,马蔺相对含水量下降37.27%,经对比发现,相同时间的干旱胁迫使红籽鸢尾的相对含水量下降幅度略高于德国鸢尾,但明显低于马蔺,根据相对含水量下降幅度可以得出这3种植物的抗旱能力由强到弱的顺序是德国鸢尾>红籽鸢尾>马蔺。有研究表明,植物相对含水量的变化必然会引起一系列相应的生理生化指标变化,本试验得出红籽鸢尾的相对电导率、MDA含量、SOD活性、PRO含量和叶绿素含量等指标都随着叶片相对含水量的降低而发生了一系列变化,即相对电导率、MDA含量、PRO含量逐渐增加;SOD活性和可溶性蛋白含量初期增加,后期降低;叶绿素含量逐渐降低。植物的抗旱能力不同,干旱胁迫下膜受损的程度也不同,抗旱性强的植物在干旱胁迫下膜受损程度较小,膜透性增加也较小;而抗旱性弱的植物则相反^[1],干旱胁迫使红籽鸢尾的细胞膜受到损伤,其相对电导率逐渐增大;干旱胁迫导致植物体产生大量的活性氧,能清除活性氧的SOD活性则相应增强,但如果植物叶片水分亏缺过于严重,植物体内的SOD活性就会减弱,本试验中红籽鸢尾的SOD活性就呈现出先增强后减弱的趋势。活性氧会氧化膜脂,膜脂过氧化的主要产物是MDA,因此红籽鸢尾的MDA含量随着干旱胁迫的持续而提高。干旱胁迫下,植物细胞内会积累大量的PRO、可溶性蛋白等渗透调节物质,以降低细胞的渗透势和水势,维持膨压,渗透调节物质的调节作用和弹性调节能力可以反映植物的抗旱性^[16]。红籽鸢尾的PRO含量在干旱胁迫下逐渐提高,并且在干旱胁迫后14~21 d急剧升高。可溶性蛋白含量则先升高后下降,在干旱胁迫后21 d达到最大值,这可能是因为随着水分胁迫强度的增强,蛋白质发生水解或合成受抑制导致可溶性蛋白含量下降。

对各生理生化指标的主成分分析结果表明,叶片相对含水量、叶绿素含量、PRO含量、MDA含量、细胞质膜的透性间存在极显著相关性且相关系数较大,进一步的主成分分析结果表明前2个主成分代表了红籽鸢尾98.48%的抗旱性信息,因此可以只用前2个主成分来代替7个生理生化指标对

红籽鸢尾进行抗旱性评价。采用抗旱性隶属函数法对本试验材料红籽鸢尾与其他6种不同鸢尾属植物材料^[15]的抗旱性进综合评定和对比研究,结果表明红籽鸢尾的抗旱性强于花菖蒲,但比马蔺的抗性稍弱,这与通过土壤临界含水量和叶片相对含水量的结果有少许差异,说明植物的抗旱性强弱是通过多种指标共同体现的。对于红籽鸢尾的抗旱性研究还需要进一步研究,使红籽鸢尾的应用更加广泛。

参考文献:

[1]周源. 七种鸢尾的抗旱性研究[D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学, 2006:5-31.

[2]韩玉林,黄苏珍,孙桂弟. 5种鸢尾属观赏地被植物的抗旱性研究[J]. 江苏农业科学,2007(2):79-82.

[3]余莉琳,裴宗平,常晓华,等. 干旱胁迫及复水对4种矿区生态修复草本植物生理特性的影响[J]. 江苏农业科学,2013,41(7):362-364.

[4]崔娇鹏. 地被菊抗旱节水性初步研究[D]. 北京:北京林业大学, 2005:21.

[5]华孟,王坚. 土壤物理学附实验指导[M]. 北京:北京农业大学出版社,1993:44.

[6]高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京:高等教育出版社, 2006:228-231.

[7]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,2000:134-137.

[8]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,2007:14.

[9]张志良,瞿伟菁,李小方. 植物生理学实验指导[M]. 4版. 北京:高等教育出版社,2009:103-104.

[10]华东师范大学植物生理教研组. 植物生理学实验指导[M]. 北京:人民教育出版社,1980:2-3.

[11]王子凤. 鸢尾属6种植物对干旱胁迫的响应[D]. 南京:南京林业大学,2009:22-44.

[12]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.

[13]李锦树,王洪春,王文英,等. 干旱对玉米叶片细胞透性及膜脂的影响[J]. 植物生理学报,1983,9(3):223-229.

[14]黄苏珍. 鸢尾属(*Iris* L.)部分植物资源评价及种质创新研究[D]. 南京:南京农业大学,2004:25.

[15]王学奎. 植物生理生化实验原理与技术[M]. 2版. 北京:高等教育出版社,2006:167-173.

[16]杜建雄,师尚礼,刘金荣,等. 干旱胁迫和复水对草地早熟禾3个品种生理特性的影响[J]. 草地学报,2010,18(1):73-77.