

国庆小菊品种抗旱性综合评价

翟丽丽, 房伟民, 陈发棣, 王晓帅, 吴洪米, 张琳

(南京农业大学 园艺学院, 江苏 南京 210095)

摘要: 采用盆栽方法经反复干旱处理后, 测定与国庆小菊生长势和观赏性有关的 11 个指标, 通过方差、主成分和隶属函数对多指标变量进行分析, 综合评价了 20 个国庆小菊品种的抗旱性。结果表明: 国庆小菊生长期抗旱鉴定的 11 个指标提取归纳为 3 个主成分, 同时在 3 个主成分中筛选出根冠比胁迫指数、地下生物量胁迫指数、分枝性胁迫指数、群体花期胁迫指数、花量胁迫指数、花径胁迫指数、舌状花数胁迫指数等 7 个指标与国庆小菊生长期抗旱性密切相关; 根据隶属函数平均值大小对 20 个国庆小菊品种抗旱性进行排序, 将品种划分为强、中、弱 3 个等级, 其中‘金陵娇黄’*Chrysanthemum* × *grandiflorum* ‘Jinling Jiaohuang’等 5 个品种为抗旱性强品种, ‘金陵矮黄’*Chrysanthemum* × *grandiflorum* ‘Jinling Aihuang’等 4 个品种为抗旱性弱品种, 其余 11 个为中等抗旱性品种。图 1 表 5 参 20

关键词: 园艺学; 国庆小菊; 抗旱性; 评价

中图分类号: S682.1

文献标志码: A

文章编号: 2095-0756(2012)02-0166-07

Drought resistance of Guoqing chrysanthemum with small inflorescences

ZHAI Li-li, FANG Wei-min, CHEN Fa-di, WANG Xiao-shuai, WU Hong-mi, ZHANG Lin

(College of Horticulture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, Jiangsu, China)

Abstract: In this study, 11 indexes closely related to the growth potential and ornamental value of 20 Guoqing chrysanthemums with small inflorescences in their growth stage were measured and their drought resistance was evaluated by an analysis of variance, a principal components analysis, and a subordinate function analysis. Results of the principal components analysis showed the indexes could be classified into 3 component parts with 7 indexes closely related to drought-resistance; namely, stress indexes of root-shoot ratio, underground biomass, number of branches after topping, flowering phase of population, flowering quantity, flower diameter, and the number of ligulate flowers. Using the average of subordinate function, drought resistance was also divided into three classes. [Ch, 1 fig. 5 tab. 20 ref.]

Key words: horticulture; Guoqing chrysanthemum with small inflorescences; drought resistance; evaluation

菊花 *Chrysanthemum* × *grandiflorum* 为原产中国的十大传统名花之一^[1]。小花型盆栽菊花具有植株矮圆整、花型优美、花色丰富、着花繁密、开花一致等特点^[2], 其中国庆节(10 月 1 日)前后开花的小菊品种应用最为普遍, 广泛应用于城市园林、街道美化、居室装饰等。中国干旱、半干旱地区约占全国土地面积的 1/2, 虽然主要集中在北方, 但是南方湿润、半湿润地区因降水不均也常会有周期性、季节性或临时性的干旱^[3]。干旱对于园林植物的生长发育及观赏价值有着不良影响, 成为诸多园林植物应用的限制因素。国庆小菊品种因其生长期主要在春夏季节, 干旱对其影响明显大于秋花型品种。因此, 建立其抗旱性评价体系并开展品种筛选与应用, 不仅可以减少相应人工管理成本, 降低水资源消耗, 也有利于国庆小菊品种进一步拓宽应用范围。菊花的抗逆性研究有部分报道, 陈发棣等^[4]通过叶绿素相对

收稿日期: 2011-06-13; 修回日期: 2011-10-14

基金项目: 科学技术部科技人员服务企业行动项目(2009GJC10039); 江苏省农业科技自主创新资金项目[CX(09)614; CX(10)114]

作者简介: 翟丽丽, 硕士, 从事花卉园艺研究。E-mail: lldpgy@yahoo.cn。通信作者: 房伟民, 教授, 博士, 从事观赏园艺研究。E-mail: fangwm@njau.edu.cn

含量、过氧化物酶(POD)活性和电导率测定，对 5 个小菊品种(或种)的耐热性进行了鉴定。许瑛等^[5]通过生理指标测定及形态解剖观察探讨各指标与耐寒性关系，建立了菊花耐寒性数学评价模型。尹冬梅等^[6]采用土培模拟涝害方法，测定生理指标并结合外部形态观察初步评定了 5 种菊花近缘种属植物的耐涝能力，建立了其苗期耐涝性评价体系。关于抗旱性研究仅有少量报道，如张常青等^[7]采用自然失水胁迫和聚乙二醇(PEG)胁迫处理方法，研究地被菊幼苗失水胁迫下形态和生理指标，并建立菊花幼苗抗旱性评价体系；秦贺兰等^[8]研究了干旱胁迫下 3 个夏花型小菊品种生理生化特性的影响，而长期持续干旱胁迫对小菊生长与观赏价值的影响及其抗旱性评价的研究未见报道。本研究以 20 个国庆小菊品种为材料，在生长过程中持续干旱胁迫下测定观赏期的各形态指标，通过方差分析、主成分分析和隶属函数分析对多指标变量进行分析，以期对国庆小菊抗旱性进行综合评价，为其推广应用提供理论和技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验材料取自南京农业大学中国菊花种质资源保存中心，共计 20 个品种，均是国庆前后开花的小菊品种(表 1)。

表 1 供试的试验材料

Table 1 Plant mater is used in this study

序号	品种名	颜色	花型	序号	品种名	颜色	花型
1	‘金陵黄’ ‘Jinling Huang’	金黄	重瓣	11	‘金陵黄扣’ ‘Jinling Huangkou’	金黄	重瓣
2	‘金陵矮黄’ ‘Jinling Aihuang’	黄色	重瓣	12	‘金陵娇黄’ ‘Jinling Jiaohuang’	黄色	复瓣
3	‘金陵丰收’ ‘Jiling Fengshou’	金黄	复瓣	13	‘金陵紫衫’ ‘Jinling Zishan’	紫色	单瓣
4	‘金陵黄鹂’ ‘Jinling Huangli’	黄色	重瓣	14	‘金陵红玫’ ‘Jinling Hongmei’	红色	复瓣
5	‘金陵皇冠’ ‘Jinling Huangguan’	黄色	重瓣	15	‘金陵粉玉兰’ ‘Jinling Fenyulan’	粉色	重瓣
6	‘金陵白羽’ ‘Jinling Baiyu’	白色	重瓣	16	‘金陵粉莲’ ‘Jinling Fenlian’	粉紫	重瓣
7	‘金陵阳光’ ‘Jinling Yangguang’	黄色	重瓣	17	‘金陵泥金’ ‘Jinling Nijin’	泥金	复瓣
8	‘金陵笑靥’ ‘Jinling Xiaoye’	粉紫	重瓣	18	‘金陵白凤’ ‘Jinling Baifeng’	白色	重瓣
9	‘金陵星光’ ‘Jinling Xingguang’	金黄	重瓣	19	‘金陵红霞’ ‘Jinling Hongxia’	红色	复瓣
10	‘金陵红莲’ ‘Jinling Honglian’	橙红	重瓣	20	‘金陵晚黄’ ‘Jinling Wanhuang’	黄色	重瓣

1.2 试验方法

试验于 2010 年 5 月至 11 月在南京农业大学菊花种质资源保存中心进行。

1.2.1 试验设计 5 月 29 日选取生长健壮、发育充实、无病虫害的插穗扦插于大棚中，6 月 13 日将生根苗定植于装有等量培养土(园土：蛭石体积比=2：1)的花盆(20 cm × 20 cm)中，放置在地面铺 10 cm 厚石子的避雨大棚内，株行距为 25 cm × 25 cm。缓苗 14 d 后，充分灌水 1 次，3 d 后采用反复干旱法^[9]开始干旱处理，对照组正常栽培管理，各品种 12 株·组⁻¹，2 次重复。自处理开始后每天观测记录土壤水势及植株形态的变化，土壤水势用 Tensio100 土壤张力计测定，测定土壤水势的位置为花盆底部。并结合前期的预备试验最终确定了各个阶段的补水水势，干旱胁迫处理按照干旱胁迫—复水—干旱胁迫的过程进行，第 1 阶段从处理开始至 7 月 30 日，培养土水势降到-40 kPa，多数材料叶片出现萎焉，部分叶片干枯时复水。第 2 阶段自 8 月 1 日至植株现蕾期(50%以上的枝条现蕾)，培养土水势降到-55 kPa，多数材料叶片与花蕾萎焉，少数叶片干枯时复水；第 3 阶段自现蕾期至花期结束，培养土水势降到-45 kPa，多数材料叶片与花朵萎焉，少数叶片干枯时复水。

1.2.2 指标测试 参考部分植物的抗旱性评价方法^[10-12]，确定了 11 个与国庆小菊抗旱性有关的评价指标，指标均采用胁迫指数的形式(表 2)。盛花期时参考菊花特异性(distinctness)，一致性(uniformity)和稳定性(stability)(DUS)测试指南^[13]测定株高、冠幅、花径、花量、舌状花数、花梗长度、分枝性，花期结束后测定计算地上生物量、地下生物量、根冠比和群体花期。其中群体花期为 10% 的花朵盛开至

50%的花朵衰败的时间,根冠比为植株地下生物量/地上生物量,胁迫指数为处理组测量值/对照组测量值^[10]。

1.3 数据分析

利用 SPSS 17.0 (society product and solution service 17.0)软件进行方差分析、主成分分析^[14],采用隶属函数法对 20 份国庆小菊的抗旱性进行评价。

隶属函数的计算公式: $R(x_i)=(x_i-x_{\min})/(x_{\max}-x_{\min})$ 。其中 x_i 为指标测定值, $x_{\min}$, $x_{\max}$ 为所有参试材料某一指标的最小值和最大值。

2 结果与分析

2.1 方差分析

对国庆小菊的 11 个形态指数进行方差分析的结果表明(表 2), 11 个指数品种间均差异极显著($P<0.01$), 重复间差异不显著, 故可对 11 个抗旱指数进行主成分分析。

表 2 干旱胁迫下 20 个国庆小菊品种的 11 个指标方差分析

Table 2 Variance analysis and F-test of 11 indexes of 20 cultivars of Guoqing chrysanthemum with small inflorescences under drought stress

抗旱指标	材料间	重复间
株高胁迫指数	15.272**	0.325 ^{ns}
冠幅胁迫指数	15.369**	0.306 ^{ns}
分枝性胁迫指数	9.308**	0.635 ^{ns}
花量胁迫指数	11.590**	0.820 ^{ns}
群体花期胁迫指数	11.839**	0.347 ^{ns}
花径胁迫指数	10.166**	0.276 ^{ns}
花梗长度胁迫指数	8.663**	0.515 ^{ns}
舌状花数胁迫指数	10.324**	1.642 ^{ns}
地上生物量胁迫指数	17.372**	0.375 ^{ns}
地下生物量胁迫指数	16.319**	0.215 ^{ns}
根冠比胁迫指数	19.468**	0.176 ^{ns}

说明: F 检验, ** 表示差异极显著($P<0.01$); ns 表示重复间差异不显著。

2.2 主成分分析

主成分的特征根和贡献率是选择主成分的依据(表 3), 根据主成分的累积方差贡献率大于 80%原则, 贡献率较小的成分可忽略不计, 故选留前 3 个主成分作为国庆小菊抗旱性评价的综合指标(表 4)。前 3 个主成分的累积方差贡献率为 82.179%, 表明前 3 个主成分已经把与抗旱性有关的 82.179%的信息反映出来了。

决定第 1 主成分大小的主要是地下生物量胁迫指数(0.938), 根冠比胁迫指数(0.867), 分枝性胁迫指数(0.858), 群体花期胁迫指数(0.818), 花量胁迫指数(0.704)等 5 个性状分量。第 1 主成分相当于 5.707 个原始指标的作用, 可以反映原始数据信息量的 51.884%。第 1 主成分中所占比重较大的根冠比

表 3 耐旱指标筛选主成分分析

Table 3 Principal component analysis for drought resistance indexes screening

主成分	特征值	相邻特征值差异	贡献率/%	累计贡献率/%
1	5.707	3.666	51.884	51.884
2	2.041	0.749	18.551	70.436
3	1.292	0.323	11.743	82.189
4	0.969	0.138	9.576	91.765
5	0.831	0.831	8.235	100.00

表 4 主成分因子得分系数

Table 4 Component score coefficient

抗旱指标	第 1 主成分	第 2 主成分	第 3 主成分
株高胁迫指数	0.564	-0.241	-0.177
冠幅胁迫指数	0.685	-0.373	0.474
分枝性胁迫指数	0.858	-0.394	0.087
花量胁迫指数	0.704	-0.412	0.363
群体花期胁迫指数	0.818	0.243	-0.418
花径胁迫指数	0.545	0.678	0.409
花梗长度胁迫指数	0.667	0.418	-0.335
舌状花数胁迫指数	0.565	0.633	0.034
地上生物量胁迫指数	0.570	-0.599	0.498
地下生物量胁迫指数	0.938	-0.062	-0.225
根冠比胁迫指数	0.867	0.248	-0.354

胁迫指数、地下生物量胁迫指数均与根系有关，其生长发育状况直接影响地上部茎、叶和花的生长^[10]。分枝性、群体花期和花量与观赏性密切相关，它们的变化反映了干旱胁迫对国庆小菊生长势与观赏性的影响。

决定第 2 主成分大小的主要是花径胁迫指数(0.678)，舌状花数胁迫指数(0.633)，花梗长度胁迫指数(0.418)等 3 个性状分量。第 2 主成分相当于 2.041 个原始指标的作用，可以反映原始数据信息量的 18.551%。这 3 个性状以其不同的角度反映了单个花序的观赏特性，它们的变化体现了干旱胁迫对国庆小菊单个花序的观赏性造成的影响。

决定第 3 主成分大小的主要是地上生物量胁迫指数(0.498)，冠幅胁迫指数(0.474)，花径胁迫指数(0.409)等 3 个性状分量。第 3 主成分相当于 1.292 个原始指标的作用，可以反映原始数据信息量的 11.743%。冠幅、花径与国庆小菊观赏性有关，其指数变化可以反映出干旱胁迫对其生长势与观赏性的影响。

2.3 隶属函数分析

根据主成分分析，特征根的大小代表各综合指标对总遗传方差贡献的大小，特征向量表示各性状对综合指标贡献的大小。第 1 主成分和第 2 主成分的累计贡献率为 70.436%，表明前 2 个主成分已将原始数据大部分的信息反映了出来。在 2 个主成分中筛选负荷系数绝对值为 0.63~0.94 的指标，从而得到根冠比胁迫指数、地下生物量胁迫指数、分枝性胁迫指数、群体花期胁迫指数、花量胁迫指数、花径胁迫指数、舌状花数胁迫指数等 7 个指标，然后进行隶属函数分析，最终得出了 20 个国庆小菊品种的抗旱性排序(表 5)。

20 个品种划分为 3 个等级：隶属函数值大于 0.63 的为抗旱性强品种，包括‘金陵娇黄’‘金陵黄扣’‘金陵笑靥’‘金陵黄’和‘金陵粉玉兰’5 个，干旱胁迫后叶片与花蕾萎蔫程度较低，复水后恢复较快，各个指标处理与对照之间差异不明显。隶属函数值小于 0.30 的为抗旱性弱的品种，包括‘金陵矮黄’‘金陵丰收’‘金陵星光’和‘金陵紫衫’4 个，这一等级的品种受干旱胁迫的影响较为明显，干旱胁迫后叶片与花蕾萎蔫程度较高，复水后恢复较慢，各个指标处理与对照之间差异明显。其余的 11 个品种为中等抗性，干旱胁迫后的萎蔫程度与复水后恢复速度及各个指标处理与对照之间差异多介于前两类之间。

3 结论与讨论

3.1 抗旱评价方法的选择

目前，鉴定园林植物的抗旱试验方法很多，常用的方法(如田间试验法、干旱棚法、抗旱池法、生长箱法或人工模拟气候箱法^[15])主要是根据园林植物生长环境的不同和对园林植物干旱处理的方法(如土壤

表 5 干旱胁迫下 20 个国庆小菊品种隶属函数值

Table 5 Subordinate function values of 20 cultivars of Guoqing chrysanthemum with small inflorescences under drought treatment

序号	$R(1)$	$R(2)$	$R(3)$	$R(4)$	$R(5)$	$R(6)$	$R(7)$	$S(1)$	排序
1	0.665	0.589	0.459	0.812	0.705	0.579	0.698	0.644	4
2	0.375	0.241	0.212	0.338	0.236	0.323	0.278	0.286	17
3	0.189	0.134	0.312	0.257	0.369	0.232	0.277	0.253	18
4	0.465	0.729	0.580	0.581	0.572	0.389	0.560	0.554	7
5	0.548	0.452	0.478	0.432	0.398	0.318	0.351	0.425	13
6	0.659	0.451	0.497	0.556	0.498	0.298	0.451	0.487	12
7	0.694	0.396	0.582	0.563	0.485	0.451	0.379	0.507	11
8	0.623	0.821	0.701	0.668	0.694	0.680	0.498	0.669	3
9	0.330	0.226	0.248	0.320	0.139	0.129	0.179	0.224	19
10	0.568	0.734	0.490	0.618	0.556	0.520	0.635	0.589	6
11	0.618	0.808	0.672	0.678	0.708	0.669	0.681	0.691	2
12	0.627	0.916	0.677	0.665	0.638	0.670	0.682	0.696	1
13	0.321	0.178	0.265	0.289	0.157	0.135	0.192	0.220	20
14	0.421	0.685	0.465	0.409	0.635	0.339	0.738	0.527	8
15	0.589	0.799	0.524	0.617	0.688	0.458	0.768	0.635	5
16	0.368	0.565	0.521	0.509	0.639	0.365	0.708	0.525	9
17	0.398	0.769	0.482	0.347	0.629	0.301	0.637	0.509	10
18	0.405	0.367	0.389	0.465	0.387	0.265	0.324	0.372	15
19	0.175	0.441	0.307	0.307	0.436	0.223	0.279	0.310	16
20	0.390	0.359	0.379	0.560	0.432	0.301	0.302	0.389	14

说明: 表中 $R(1)$, $R(2)$, $R(3)$, $R(4)$, $R(5)$, $R(6)$, $R(7)$ 分别表示根冠比胁迫指数、地下生物量胁迫指数、分枝性胁迫指数、群体花期胁迫指数、花量胁迫指数、花径胁迫指数、舌状花数胁迫指数的隶属函数值; $S(1)$ 代表隶属函数平均值。

干旱盆栽法、大气干旱法和高渗溶液法^[10])不同而制定的。每种方法各有优缺点, 且无统一规范, 试验时需根据研究目的灵活运用。

本试验采用室内盆栽鉴定的方法。该方法能够比较灵活地人为控制浇水量和浇水时间, 但盆栽限制根系自由生长导致实验结果与田间试验或生产实际存在一定的差异, 差异只能尽量减小而不可避免。同时在试验过程中发现外界温度湿度的变化很容易对土壤水势产生一定的影响, 所以, 补水的时间并不具有规律性。本试验中采用借助土壤张力计结合植株形态变化的方法来确定最佳的补水时间, 消除了外在因素带来的影响。

3.2 抗旱评价指标的确定

植物的抗旱性是由遗传因子和环境共同控制的一个复杂的数量性状, 只有采用多指标的综合评价, 才能较客观地反映植物的耐旱性^[16]。生长因子对干旱的反映最为敏感, 因此, 评价生长及形态指标仍然是抗旱鉴定最常用的方法。地被菊株高、冠幅的增长率在地栽控水条件下逐渐降低^[17], 干旱胁迫也抑制了马尾松 *Pinus massoniana* 苗株高和生物量积累^[18], 而本试验中干旱胁迫下大部分植株特别是抗旱中等以上的品种根冠比、地下生物量、分枝性、群体花期、花量等指标的变化大于株高和冠幅指标, 且不同抗旱程度的品种间差异也较大, 而被纳入了抗旱性评价中, 株高和冠幅变化相对较小的原因可能与国庆小菊品种本身株型低矮、紧凑有关。

相关研究表明: 采用室内盆栽下的人工模拟干旱胁迫使不同苜蓿种质苗期除根冠比增加外, 其存活率、株高、地上和地下生物量均呈明显下降趋势^[19], 而干旱胁迫条件下杨树无性系生物量累积受到明显抑制, 根冠比却明显降低^[20]。本研究也发现不同品种间同一指标变化规律不尽相同, 而与对照差别明显

(图 1), 因此, 评价指标均以胁迫指数形式表示, 胁迫指数越大说明抵抗逆境的能力越强, 从而消除品种间非试验因素带来的差异。

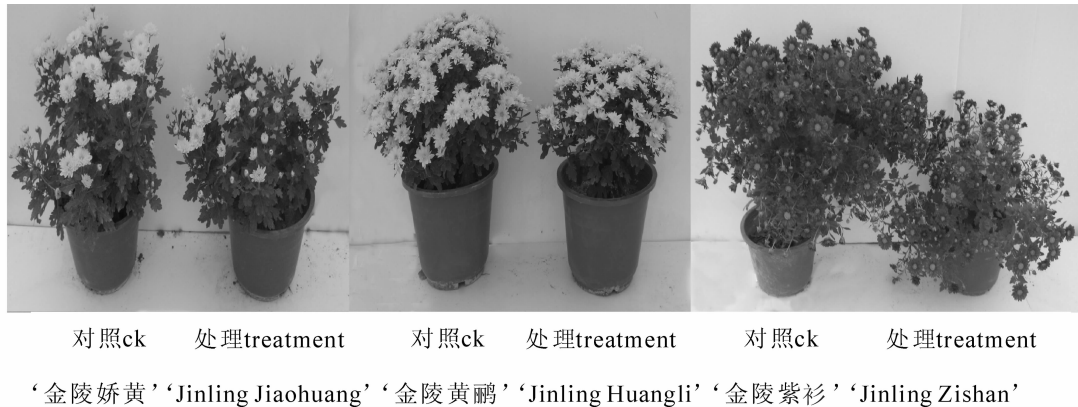


图 1 干旱胁迫下不同耐旱等级代表品种与对照的比较

Figure 1 Comparison between representative cultivars of different grades of drought resistance and the contrast

此外, 部分与观赏性相关的定性指标如初花期、盛花期、株型等, 由于很难定量界定, 所以未被采用, 但试验发现干旱对其影响较大。今后, 可以考虑制定评分标准, 赋予量化分值, 使其具可比性, 并选择合适评价方法, 以便更为全面科学地评价品种抗旱性。

参考文献:

- [1] 李鸿渐. 中国菊花[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1993.
- [2] 管志勇, 陈发棣, 陈素梅, 等. NaCl 胁迫对菊花花序形态及生理指标的影响[J]. 西北植物学报, 2009, **29** (8): 1624 – 1629.
GUAN Zhiyong, CHEN Fadi, CHEN Sumei, *et al.* Morphological and physiological changes of *Chrysanthemum* (*Chrysanthemum* $\times$ *grandiflorum*) inflorescence under NaCl stress [J]. *Acta Bot Boreali-Occident Sin*, 2009, **29** (8): 1624 – 1629.
- [3] 郭慧, 吕长平, 郑智, 等. 园林植物抗旱性研究进展[J]. 安徽农学通报, 2009, **15** (7): 53 – 55.
GUO Hui, LU Changping, ZHENG Zhi, *et al.* Advances in research of drought resistance of landscape plants [J]. *Anhui Agric Sci Bull*, 2009, **15** (7): 53 – 55.
- [4] 陈发棣, 陈素梅, 房伟民, 等. 5 个小菊品种(或种)的耐热性鉴定[J]. 上海农业学报, 2001, **17** (3): 80 – 82.
CHEN Fadi, CHEN Sumei, FANG Weimin, *et al.* Determining heat tolerance for *Chrysanthemum vestitum* and four chrysanthemum (*Chrysanthemum* $\times$ *grandiflorum*) cultivars with small flowers [J]. *Acta Agric Shanghai*, 2001, **17** (3): 80 – 82.
- [5] 许瑛, 陈煜, 陈发棣, 等. 菊花耐寒特性分析及其评价指标的确定[J]. 中国农业科学, 2009, **42** (3): 974 – 981.
XU Ying, CHEN Yu, CHEN Fadi, *et al.* Analysis of cold-tolerance and determination of cold-tolerance evaluation indicators in chrysanthemum (*Chrysanthemum* $\times$ *grandiflorum*) [J]. *Sci Agric Sin*, 2009, **42** (3): 974 – 981.
- [6] 尹冬梅, 管志勇, 陈素梅, 等. 菊花及其近缘种属植物耐涝评价体系建立及耐涝性鉴定[J]. 植物遗传资源学报, 2009, **10** (3): 399 – 404.
YIN Dongmei, GUAN Zhiyong, CHEN Sumei, *et al.* Establishment of evaluation system for waterlogging tolerance and identification of waterlogging tolerance in *Chrysanthemum morifolium* and its related genera plants [J]. *J Plant Gen Resour*, 2009, **10** (3): 399 – 404.
- [7] 张常青, 洪波, 李建科, 等. 地被菊花幼苗耐旱性评价方法研究[J]. 中国农业科学, 2005, **38** (4): 789 – 796.
ZHANG Changqing, HONG Bo, LI Jianke, *et al.* A simple method to evaluate the drought tolerance of ground-cover chrysanthemum (*Dendranthema* $\times$ *grandiflorum*) rooted cuttings [J]. *Sci Agric Sin*, 2005, **38** (4): 789 – 796.
- [8] 秦贺兰, 曹蕾, 卜燕华. 干旱胁迫对 3 个夏花型小菊新品种生理生化特性的影响[J]. 中国农业通报, 2007, **23** (6): 446 – 449.

- QIN Helan, CAO Lei, PU Yanhua. Effect of drought stress on physiological and biochemical characteristics in three cultivars of small flowers in chrysanthemum (*Chrysanthemum × grandiflorum*) [J]. *Chin Agric Sci Bull*, 2007, **23** (6): 446 – 449.
- [9] 胡荣海, 吕小平. 反复干旱法的生理基础及其应用[J]. 华北农学报, 1996, **11** (3): 51 – 56.
HU Ronghai, CHANG Xiaoping. The physiological base and utilization of repeated drought method [J]. *Acta Agric Bor-Sin*, 1996, **11** (3): 51 – 56.
- [10] 王艳慧, 高洪文, 王赞, 等. 胶质苜蓿种质资源苗期抗旱性综合评价[J]. 植物遗传资源学报, 2009, **10** (3): 443 – 447.
WANG Yanhui, GAO Hongwen, WANG Zan, *et al.* Study and evaluation of drought resistance capacity of *Medicago glutinosa* germplasm resources at seedling stage [J]. *J Plant Gen Resour*, 2009, **10** (3): 443 – 447.
- [11] DAVIES W J, ZHANG Jianhua. Root signals and the regulation of growth and development of plants in drying soil [J]. *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol*, 1991, **42**: 55 – 76.
- [12] BELL L W. Relative growth rate, resource allocation and root morphology in the perennial legumes, *Medicago sativa*, *Dorycnium rectum* and *D. hirsutum* grown under controlled conditions [J]. *Plant Soil*, 2005, **270** (1): 199 – 211.
- [13] 中华人民共和国农业部. 植物新品种特异性、一致性、稳定性测试指南: 菊花[S]. 北京: 中国标准出版社, 2002.
- [14] NEIL S J, KEITH S D, PAULA A T, *et al.* A component analysis of cognitive-behavioral, 2000, treatment for depression [J]. *J Consult Clin Psychol*, 1996, **64** (2): 295 – 304.
- [15] 高小锋, 王进鑫, 张波, 等. 不同生长期干旱胁迫对刺槐幼树干物质分配的影响[J]. 生态学杂志, 2010, **29** (6): 1103 – 1108.
GAO Xiaofeng, WANG Jinxin, ZHANG Bo, *et al.* Effects of drought stress on dry matter partitioning of young *Robinia pseudoacacia* at its different growth stages [J]. *Chin J Ecol*, 2010, **29** (6): 1103 – 1108.
- [16] 张卫华, 张方秋, 张守攻, 等. 马占相思抗旱性生理指标的选择研究[J]. 中南林学院学报, 2005, **25** (6): 56 – 59.
ZHANG Weihua, ZHANG Fangqiu, ZHANG Shougong, *et al.* Selection of physiological indexes of drought resistance to *Acacia mangium* [J]. *J Cent South For Univ*, 2005, **25** (6): 56–59.
- [17] 李锦馨. 地被菊在不同水分胁迫下生长状况研究[J]. 安徽农业科学, 2008, **36** (36): 15974 – 15976.
LI Jinxin. Experimental study on drought resistance of groundcover chrysanthemum (*Chrysanthemum × grandiflorum*) in field cultivation [J]. *J Anhui Agric Sci*, 2008, **36** (36): 15974 – 15976.
- [18] 胡晓健, 欧阳献, 喻方圆. 干旱胁迫对不同种源马尾松苗木生长及生物量的影响[J]. 江西农业大学学报, 2010, **32** (3): 510 – 516.
HU Xiaojian, OUYANG Xian, YU Fangyuan. Effects of drought stress on the growth and biomass of *Pinus massoniana* seedlings in different provenances [J]. *Acta Agric Univ Jiangxi*, 2010, **32** (3): 510 – 516.
- [19] 李源, 刘贵波, 高洪文, 等. 苗期干旱胁迫对苜蓿种质生长特性的影响[J]. 河北农业科学, 2010, **14** (7): 1 – 4, 41.
LI Yuan, LIU Guibo, GAO Hongwen, *et al.* Effects of drought stress on the growth characteristics of different alfalfa (*Medicago* spp.) germplasms during seedling stage [J]. *J Hebei Agric Sci*, 2010, **14** (7): 1 – 4, 41.
- [20] 唐罗忠, 黄选瑞, 李彦慧. 水分胁迫对白杨杂种无性系生理和生长的影响[J]. 河北林果研究, 1998, **22** (2): 99 – 102.
TANG Luozhong, HUANG Xuarui, LI Yanhui. Physiology and growth of hybrid clone of white poplar (*Populus ning-shanica*) in response to water stress [J]. *Hebei J For Orchard Res*, 1998, **22** (2): 99 – 102.