

# 五种黄色系菊科植物幼苗对干旱胁迫的生理响应及抗旱性评价

刘 敏<sup>1,2</sup>, 厉 悦<sup>3</sup>, 汲文宪<sup>1</sup>, 梁 艳<sup>1</sup>, 张 志<sup>1</sup>, 陈 阳<sup>1</sup>

(1. 齐齐哈尔大学 生命科学与农林学院, 黑龙江 齐齐哈尔 161006; 2. 东北林业大学 森林植物生态学教育部重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150040; 3. 齐齐哈尔大学 化学与化学工程学院, 黑龙江 齐齐哈尔 161006)

**摘 要:**为筛选适合节水型园林建设中运用的抗旱性较强的植物,以5种黄色系菊科植物(万寿菊、孔雀草、雏菊、金鸡菊和天人菊)为试验材料,用3个浓度(10%、20%、30%)PEG 6000模拟干旱胁迫处理,研究了被测试植物幼苗对干旱胁迫的生理响应,并进行了抗旱性评价。结果表明:3种PEG浓度胁迫下均表现为随着胁迫时间的延长5种幼苗叶片的叶绿素含量持续下降,可溶性蛋白质含量先升后降,质膜相对透性和脯氨酸含量持续增加,且高浓度PEG引起的各项指标变幅大于低浓度下的变化幅度;但5种幼苗叶片内丙二醛积累情况有所差异,3种PEG浓度下都是孔雀草、天人菊和万寿菊随胁迫时间的延长,幼苗叶片中的丙二醛含量先降后升,而雏菊和金鸡菊则一直逐渐增加。利用隶属函数法对5种植物幼苗抗旱能力进行综合评价,轻度和中度干旱胁迫下,天人菊抗旱性最强,孔雀草次之,雏菊最弱;重度水分胁迫下,孔雀草抗旱性最强,天人菊次之,雏菊最弱。

**关键词:**抗旱性;隶属函数法;干旱胁迫;生理响应;节水型园林;菊科

**中图分类号:**S 682.1<sup>+</sup>1 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2016)11-0061-07

水分是影响植物生长发育的重要环境因子,我国是一个水资源短缺的国家,人均水资源占有量仅为世界平均水平的1/4,而且分布不均。我国多年平均缺水量536亿m<sup>3</sup>,2/3城市缺水,110座城市严重缺水<sup>[1]</sup>。随着城市化进程不断推进,城市土壤变得越来越干旱,保水能力差<sup>[2]</sup>,不利于植物生长,每年用于城市绿地系统的灌溉用水已占城市用水的很大比重,更加重了城市水资源缺乏的压力。在城市水资源匮乏和园林绿地用水矛盾不断增大的前提下,加快园林植物抗旱性研究,进行抗旱品种的筛选和培育,促进节水型园林建设是当今园林工作者工作重点之一。

菊科(Compositae)植物由于具有较高的观赏价值以及较强的生态环境适应性,常被选为园林绿化的物种,它不仅丰富城市园林植物资源,改善人工植物群落,还在改善生态环境、促进园林绿化事业发展等方面起到积极的推动作用。此外,因其可在一定范围内替代草坪,可以节约大量绿化灌溉用水和管理成本,其对于节约城市水资源、建设生态园林城市也具有较大的应用价值。

**第一作者简介:**刘敏(1979-),女,博士研究生,副教授,现主要从事园林生态等研究工作。E-mail:liuminaa168@126.com.

**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(31501785);齐齐哈尔大学青年教师科研启动支持计划资助项目(2012k-M23)。

**收稿日期:**2016-02-14

学者们在菊科植物抗寒<sup>[3-4]</sup>、抗热<sup>[4-5]</sup>、抗盐碱<sup>[6-7]</sup>、抗旱<sup>[8-11]</sup>等抗性能力上做了一些研究。园林草花种植设计时一般是先确定种植区草花的颜色和高度,然后再确定具体的物种。同颜色和高度相近的不同植物种中,耐旱性强的品种更适合在现代城市绿化中运用,但从此角度进行的园林植物研究还是比较少。该研究选取5种观赏价值较好、春夏开花、较喜光的黄色系草本菊科植物,研究其在干旱胁迫下的生理响应,了解它们对水分环境的适应范围,筛选出抗旱能力强的品种,为生态节水型园林建设提供理论支持,也可为今后的抗性育种提供一定的理论基础和试验参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

选取菊科植物中黄色系、春夏开花、较喜光的5个物种:万寿菊(*Tagetes erecta*)、孔雀草(*Tagetes patula*)、雏菊(*Bellis perennis*)、金鸡菊(*Coreopsis drummondii*)、天人菊(*Gaillardia pulchella*),种子来源于黑龙江省农业科学院园艺分院。

### 1.2 试验方法

试验材料于3月31日播种在温室大棚内,并于5月1—4日将育苗盆中的幼苗移栽至15cm×10cm的营养钵内,幼苗移栽期间正常浇水和管理。待植株长至3对真叶时,选择生长状况接近一致的植株用作模拟干旱处

理。模拟干旱处理前,用自来水将植株根系小心冲洗干净,然后在 1/2 Hoagland 营养液中平衡培养 2 d 后,将幼苗根系分别浸入到含有 10%(轻度胁迫)、20%(中度胁迫)、30%(重度胁迫)的聚乙二醇(PEG 6000)(W/V)的 1/2 Hoagland 溶液中进行胁迫处理,每个浓度设 10 次重复,每 2 d 更换 1 次营养液。连续观察幼苗萎蔫状况 8 d,每隔 2 d 对叶片取样测定叶绿素含量、质膜相对透性、丙二醛含量、可溶性蛋白质含量、游离脯氨酸含量 5 项生理指标,以第 0 天各指标数值为对照,分析 PEG 胁迫后幼苗叶片的各生理指标的变化情况,判断其抗旱性,筛选出抗旱能力强的品种。采样时间为 08:00,以功能叶片为对象,取样时每个处理的 10 次重复均取同部位样品,约 25 g。用蒸馏水擦净表面污物,将叶片剪碎、混合均匀后,进行各项生理指标的测定,每个指标重复 3 次。

### 1.3 项目测定

叶绿素含量测定采用 80%丙酮提取比色法,质膜相对透性测定采用相对电导率(RC)法,丙二醛(MDA)含量测定采用硫代巴比妥酸(TBA)比色法,可溶性蛋白质含量测定采用考马斯亮蓝染色法,游离脯氨酸(Pro)含量测定采用酸性茚三酮法<sup>[12]</sup>。

### 1.4 评定方法

利用模糊数学隶属函数法综合评价植物的抗旱性,对李仁所<sup>[13]</sup>和辛国荣等<sup>[14]</sup>提出的隶属函数值计算公式的指标含义进行了改进,先将原始测量值转化为变化幅度值,再按隶属函数值公式计算每个物种每个指标的隶属函数值。

变化幅度值(%)=(第 8 天的值-第 0 天的值)/第 0 天的值×100 (1)。

隶属函数值计算公式:

如果指标与抗旱性呈正相关: $U(X_i) = (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$  (2),

如果指标与抗旱性呈负相关: $U(X_i) = 1 - (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$  (3)。

式中, $X_i$ 为各品种第  $i$  个指标的变化幅度值; $X_{\max}$ 和  $X_{\min}$ 分别为各品种对应第  $i$  个指标变化幅度的最大和最小值。求其每个指标的隶属函数值后,再累加该品种各指标的隶属值,求其平均值,平均值越大,抗旱性越强。叶绿素、游离脯氨酸和可溶性蛋白质含量采用公式(2)计算隶属函数值,相对电导率和丙二醛含量采用公式(3)计算隶属函数值。

### 1.5 数据分析

采用 SPSS Statistics 19.0 统计软件分析和 Excel 2007 处理软件进行数据处理,用 Duncan 多重比较检验同一幼苗同一处理下不同处理时间的差异显著性,运用 Origin Pro 8 软件进行制图。

## 2 结果与分析

### 2.1 干旱胁迫对植株幼苗叶绿素含量的影响

从图 1 可以看出,在不同浓度 PEG 胁迫下,随着时

间的延长,5 种菊科植物幼苗叶片中的叶绿素含量均呈逐渐下降的趋势,且 PEG 浓度越大,下降幅度越大。10%PEG 胁迫中,孔雀草和天人菊前 2 d 叶绿素含量变化不显著( $P>0.05$ ),后期显著降低( $P<0.05$ )。雏菊、万寿菊和金鸡菊叶片中叶绿素含量随着时间的延长一直都显著下降趋势( $P<0.05$ )。至第 8 天,孔雀草和天人菊叶片中叶绿素含量降幅相对较小,分别下降了 14.43%和 34.23%;而其它 3 种植物第 8 天叶片中叶绿素含量都不到第 0 天(CK)的 30%,其中雏菊降低的程度最大,第 8 天的值仅为第 0 天(CK)的 23.69%。20%PEG 胁迫中,5 种植物叶片中叶绿素含量随着时间的延长均呈显著下降趋势( $P<0.05$ )。叶绿素含量降幅最大的为雏菊,8 d 下降了 88.28%;降幅最小的为孔雀草,仅下降了 46.60%。30%PEG 胁迫中,第 4 天 5 种植物叶片中叶绿素含量的降幅均超过 50%,第 8 天,除了孔雀草的叶绿素含量为第 0 天(CK)含量的 24.93%,其余 4 种植物的叶绿素含量均不到第 0 天(CK)的 15%,含量最低的为雏菊,仅为第 0 天(CK)含量的 11.70%。

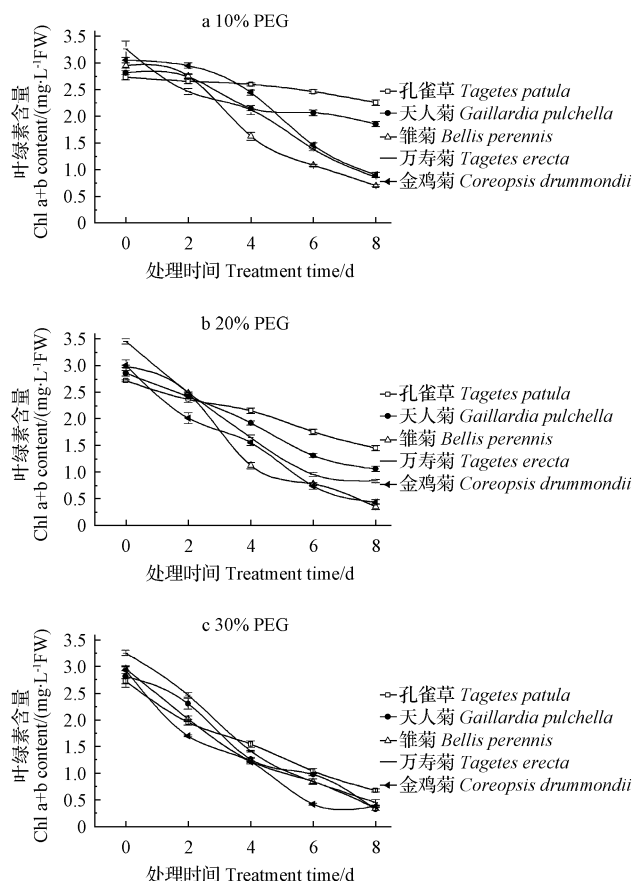


图 1 干旱胁迫对幼苗叶片叶绿素含量的影响

Fig. 1 Effect of drought stress on the Chl a+b content in seedling leaves of examined plants

### 2.2 干旱胁迫对植株幼苗渗透调节物质的影响

植物适应逆境胁迫的表现是胞内生理生化变化,其中之一就是渗透调节物质的变化,主要涉及到可溶性

蛋白质和脯氨酸含量的变化。

2.2.1 干旱胁迫对植株幼苗叶片可溶性蛋白质含量的影响 植物细胞的可溶性蛋白质中有相当一部分是具有特异性作用的调节代谢的酶,另有一些可能起脱水保护剂的作用,给细胞提供一个结合衬质以增加植物组织束缚水含量,从而使细胞结构在脱水时不致遭受更大的破坏,从而提高细胞的抗旱性。一般认为高含量的可溶性蛋白质可维持植物细胞较低的渗透势以抵抗干旱胁迫伤害。从图2可以看出,不同浓度PEG胁迫下,随着时间的延长,5种菊科植物幼苗叶片中的可溶性蛋白质含量都呈先升后降的趋势,但第8天的值均显著高于第0天(CK)的值( $P<0.05$ ),但在不同胁迫强度及不同植物中可溶性蛋白质含量的高峰值出现时间和变化幅度不同。同一PEG浓度胁迫下每种植物每隔2d的可溶性蛋白质含量的变化均显著( $P<0.05$ )。10%PEG胁迫时,万寿菊和雏菊在第4天达到高峰值,而其它3种植物的峰值出现的时间较迟(第6天)。5种植物中高峰值时增长幅度最大的为天人菊,其为第0天(CK)值的2.77倍;最小的为万寿菊,高峰值为第0天(CK)值的1.75倍。第8天时,按可溶性蛋白质含量增长幅度排序依次为:天人菊(增加134.46%)、金鸡菊、孔雀草、万寿菊、雏

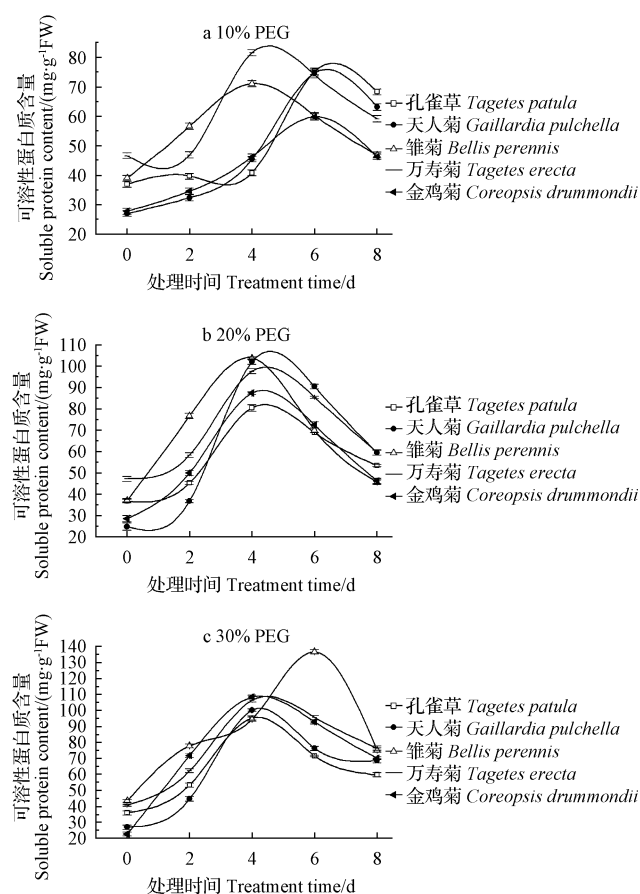


图2 干旱胁迫对幼苗叶片可溶性蛋白质含量的影响

Fig.2 Effect of drought stress on the soluble protein content in seedling leaves of examined plants

菊(增加20.33%)。20%PEG胁迫时,5种植物都在第4天达到高峰值。第4天高峰值时增长幅度最大的为天人菊,其为第0天(CK)值的4.12倍;增长幅度最小的为万寿菊,为第0天(CK)值的2.07倍。第8天时,按可溶性蛋白质含量增长幅度排序依次为:天人菊(增加139.30%)、孔雀草、金鸡菊、万寿菊、雏菊(增加22.69%)。30%PEG胁迫时,只有雏菊在第6天达到高峰值,其它4种植物在第4天达到高峰值。高峰值时增长幅度最大的为金鸡菊,其为第0天(CK)值的4.83倍;增长幅度最小的为万寿菊,为第0天(CK)值的2.61倍。第8天时,按可溶性蛋白质含量增长幅度排序依次为:金鸡菊(增加212.69%)、天人菊、万寿菊、雏菊、孔雀草(增加66.82%)。

2.2.2 干旱胁迫对菊科植物幼苗叶片脯氨酸含量的影响 脯氨酸是植物蛋白质的组分之一,并以游离状态广泛地存在于植物细胞中,亲水性极强,能稳定原生质胶体等,因而能降低冰点,有防止细胞脱水的作用。由图3可知,5种菊科植物在正常水分条件下(第0天),游离脯氨酸含量较低,在不同浓度PEG胁迫下,植株中游离脯氨酸含量均呈显著上升趋势,且PEG浓度越大,增幅越大。在10%PEG胁迫的第8天时,每种植物体内的脯氨

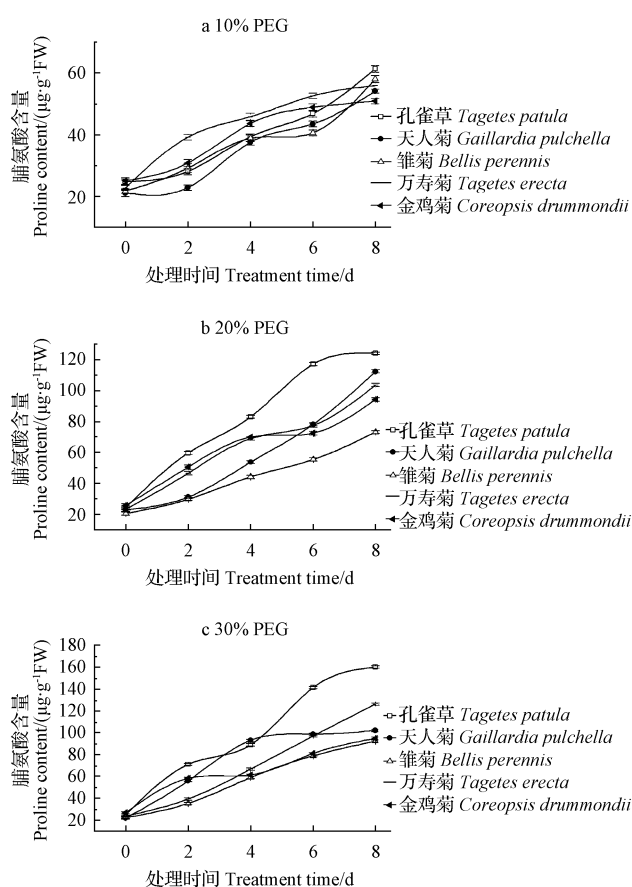


图3 干旱胁迫对幼苗游离脯氨酸含量的影响

Fig.3 Effect of drought stress on free proline content in seedling leaves of examined plants



酸含量都约为第 0 天(CK)的 2.03~2.66 倍,5 种植物之间差异较小。20%和 30%PEG 胁迫第 8 天时 5 种植物叶片中游离脯氨酸含量的增长幅度差异较大,20%PEG 胁迫时增幅最大的为孔雀草(为第 0 天的 5.12 倍),最小的为雏菊(为第 0 天的 3.58 倍);30%PEG 胁迫时增幅最大的为孔雀草(为第 0 天的 6.47 倍),最小的为金鸡菊(为第 0 天的 3.54 倍)。

## 2.3 干旱胁迫对质膜相对透性和丙二醛含量的影响

2.3.1 干旱胁迫对质膜相对透性的影响 细胞膜是植物细胞与外界的第一道防线,它的稳定性直接影响到植物细胞的代谢功能,当植物受到逆境胁迫时,细胞膜的结构遭到破坏,膜透性增大,从而使细胞内的电解质外渗,电导率增大<sup>[15]</sup>。在不同浓度 PEG 处理下,随着时间的延长,5 种菊科植物叶片相对电导率均显著升高( $P < 0.05$ ),且 PEG 浓度越大,增幅越大。10%和 30%PEG 胁迫中,第 8 天时都是雏菊叶片相对电导率最大,分别为 71.93%和 98.57%;而万寿菊是 20%PEG 胁迫时的叶片相对电导率最大的(89.82%);而孔雀草的叶片相对电导率在 3 种 PEG 浓度胁迫中都是最低的,分别为 50.97%、67.07%和 87.50%(图 4)。

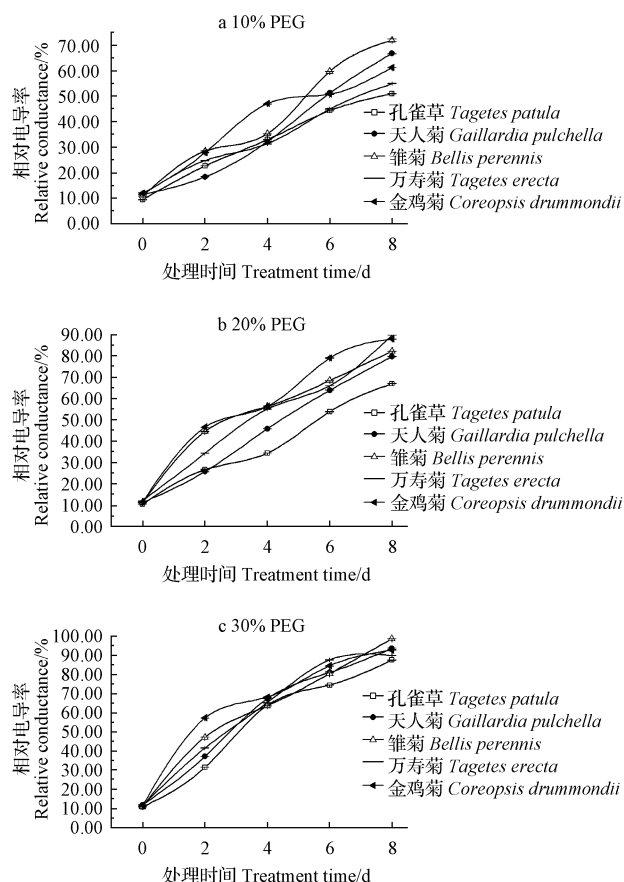


图 4 干旱胁迫对幼苗质膜相对透性的影响

Fig. 4 Effect of drought stress on plasma membrane relative permeability in seedling leaves of examined plants

2.3.2 干旱胁迫对菊科植物叶片丙二醛(MDA)含量的影响 植物组织或器官衰老或遭受逆境胁迫时,往往发生膜脂过氧化作用,丙二醛(MDA)是常见的主要产物之一,它的多少能够代表膜脂氧化的程度,也可间接反映植物组织的抗氧化能力的强弱<sup>[16]</sup>。由图 5 可知,3 个浓度的 PEG 胁迫下,5 种植物叶片中丙二醛含量的变化趋势不一致,孔雀草、万寿菊和天人菊叶片中丙二醛含量均呈先降低后升高的趋势,而雏菊和金鸡菊则是一直升高,最终第 8 天时的含量都显著高于第 0 天的值( $P < 0.05$ ),并且 PEG 浓度越高,增幅越大。10%PEG 胁迫下,8 d 内丙二醛含量增幅最大的是金鸡菊,增加了 126.48%;而 20%PEG 胁迫时孔雀草的增幅最大,增加了 169.29%;30%PEG 胁迫时增幅最大的是雏菊,增加了 280.00%。

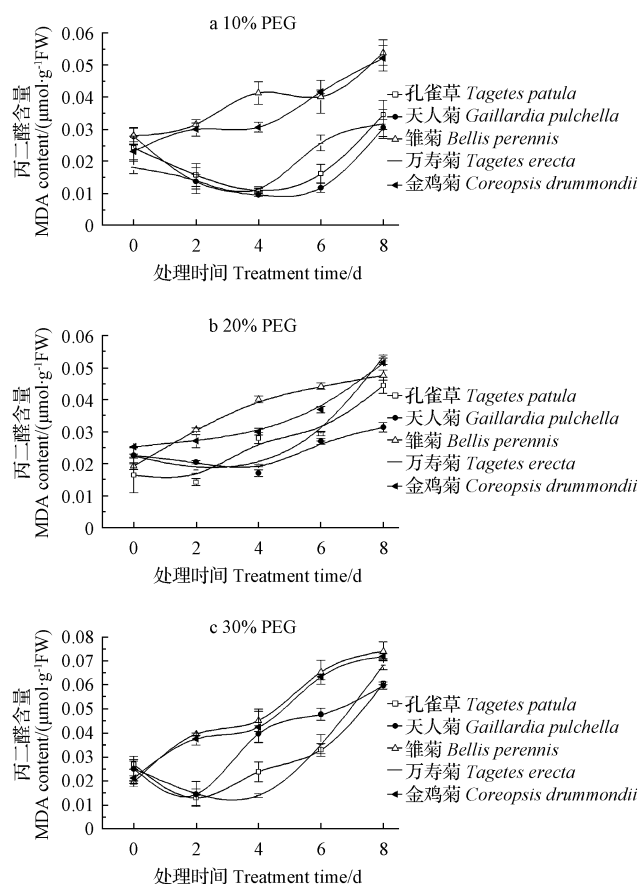


图 5 干旱胁迫对幼苗叶片丙二醛含量的影响

Fig. 5 Effect of drought stress on MDA content in seedling leaves of examined plants

## 2.4 5 种菊科植物的抗旱性的综合评价

采用隶属函数法对 5 种幼苗进行抗旱性综合评定,先计算出不同程度干旱胁迫下每种植物每个生理指标的变化幅度平均值(表 1),再计算出每种植物各项指标的隶属值和隶属值均值(表 2),隶属值均值越大,表示此物种抗旱性越强。由表 2 可知,轻度和中度干旱胁迫

下,5种植物抗旱性排序一致,均是天人菊抗旱性最强,孔雀草次之,再次为万寿菊和金鸡菊,雏菊最弱;而在重度干旱胁迫下,孔雀草抗旱性最强,天人菊次之,其它植物排序与轻度和中度胁迫相同。

表 1 5种植物各生理指标的变化幅度平均值

Table 1 Variation range of physiological indices of five species %						
处理 Treatment	物种 Species	叶绿素含量 Chl a+b content	可溶性蛋白质含量 Soluble protein content	游离脯氨酸含量 Free proline content	相对电导率 Relative conductance	丙二醛含量 MDA content
轻度胁迫(10% PEG) Mild Stress	孔雀草	-17.43	85.17	147.85	446.53	42.48
	天人菊	-34.23	134.46	156.44	489.19	9.62
	雏菊	-76.31	20.33	166.73	562.78	92.73
	万寿菊	-73.75	27.01	145.81	378.99	74.72
	金鸡菊	-70.41	66.90	103.44	409.32	126.48
中度胁迫(20% PEG) Moderate stress	孔雀草	-46.60	45.76	412.92	535.70	169.29
	天人菊	-62.92	139.30	392.34	614.61	39.50
	雏菊	-88.28	22.69	257.74	619.41	146.80
	万寿菊	-75.89	26.29	348.42	641.29	138.69
	金鸡菊	-85.49	61.93	266.18	654.83	104.10
重度胁迫(10% PEG) Severe stress	孔雀草	-75.07	66.82	547.46	704.47	125.84
	天人菊	-88.21	156.12	369.63	682.57	137.85
	雏菊	-88.30	74.24	314.65	793.95	280.00
	万寿菊	-85.99	88.37	437.26	664.69	171.03
	金鸡菊	-86.80	212.69	254.46	692.67	240.85

表 2 5种植物的隶属函数值及综合评价

Table 2 U(x) and comprehensive appraise of five species								
处理 Treatment	物种 Species	叶绿素含量 Chl a+b content	可溶性蛋白质含量 Soluble protein content	游离脯氨酸含量 Free proline content	相对电导率 Relative conductance	丙二醛含量 MDA content	均值 Average	排序 Sort order
轻度胁迫(10% PEG) Mild stress	孔雀草	1.00	0.57	0.70	0.63	0.72	0.72	2
	天人菊	0.71	1.00	0.84	0.40	1.00	0.79	1
	雏菊	0.00	0.00	1.00	0.00	0.29	0.26	5
	万寿菊	0.04	0.06	0.67	1.00	0.44	0.44	3
	金鸡菊	0.10	0.41	0.00	0.83	0.00	0.27	4
中度胁迫(20% PEG) Moderate stress	孔雀草	1.00	0.20	1.00	1.00	0.00	0.64	2
	天人菊	0.61	1.00	0.87	0.34	1.00	0.76	1
	雏菊	0.00	0.00	0.00	0.30	0.17	0.09	5
	万寿菊	0.30	0.03	0.58	0.11	0.24	0.25	3
	金鸡菊	0.07	0.34	0.05	0.00	0.50	0.19	4
重度胁迫(10% PEG) Severe stress	孔雀草	1.00	0.00	1.00	0.69	1.00	0.74	1
	天人菊	0.01	0.61	0.39	0.86	0.92	0.56	2
	雏菊	0.00	0.05	0.21	0.00	0.00	0.05	5
	万寿菊	0.17	0.15	0.62	1.00	0.71	0.53	3
	金鸡菊	0.11	1.00	0.00	0.78	0.25	0.43	4

3 结论与讨论

3.1 干旱胁迫对幼苗生理特性的影响

干旱胁迫影响植物的很多生理指标发生变化,叶绿素含量是反映植物光合作用强弱及有机物质合成能力的重要指标<sup>[17]</sup>,叶绿素含量的变化常作为植物抗旱性鉴定指标<sup>[9,18]</sup>。该研究结果显示,不同浓度 PEG 胁迫下 5 种植物幼苗叶片的叶绿素含量均发生了明显下降,且 PEG 浓度越高,下降幅度越大;同时,在同等干旱胁迫下,抗旱性越弱的植物叶绿素含量降幅越大,这与很多学者对菊科植物的研究结果一致<sup>[19-21]</sup>。植物叶片叶绿素下降,直接降低植物的光合能力,减弱植物在干旱环境中的生存能力。但田治国等<sup>[9]</sup>对初花期万寿菊属的

研究显示,干旱胁迫下叶绿素的含量呈现“先下降再上升”的变化趋势,可能不同生长期的变化情况不一致。

渗透调节是植物在水分胁迫下,通过降低渗透势和维持一定膨压来抵御逆境胁迫的一种重要方式,吴志华等<sup>[22]</sup>认为干旱胁迫会引起植株体内积累大量活性氧,促进膜脂过氧化和蛋白质(酶)、核酸等分子发生破坏,植株为了避免干旱胁迫造成的伤害,一般会诱导产生一些抗逆蛋白质,造成可溶性蛋白质含量增高。大幅度增加的可溶性蛋白质有利于植物细胞的渗透势保持在较低水平,抵抗干旱胁迫对植株产生的伤害。该试验中菊科植物幼苗受胁迫后可溶性蛋白质含量呈先升后降的变化趋势,与康俊梅等<sup>[23]</sup>、刘红云等<sup>[24]</sup>和田治国<sup>[25]</sup>的研究

结果一致,可能是胁迫前期产生了应激蛋白或是植物体内的不溶性蛋白质变为可溶性蛋白质,并参与细胞的渗透调节以及促使保护酶和渗透调节物质合成酶活性增加,以增强渗透调节能力,缓解胁迫带来的伤害,但随着胁迫的加重,超过了其调节的阈值,酶活性下降以及细胞结构遭到严重破坏,造成合成代谢受阻,蛋白质降解。该试验还反映出不同植物种在不同程度胁迫下可溶性蛋白质峰值出现的时间不同,并且增加和降低的幅度也有差异,从这些可以反映出植物抗旱性的差异,抗旱性越强的植物可溶性蛋白质增幅越大。

脯氨酸是植物在逆境条件下的主要渗透调节物质,逆境条件下植物体内游离脯氨酸含量可为正常情况下的数十至数百倍<sup>[26]</sup>。一些研究显示,脯氨酸积累量与植物抗逆性呈正相关<sup>[27-28]</sup>,很多学者都将其作为抗旱的生理指标<sup>[20-21]</sup>。该研究表明干旱胁迫下植株体内游离脯氨酸的累积情况非常明显,胁迫程度越大,增幅越大,说明菊科植物幼苗在干旱胁迫中通过增加体内游离脯氨酸含量,来维持渗透势,避免受到严重的伤害,结果与范苏鲁等<sup>[19]</sup>对大丽花的研究结果一致。

植物在逆境条件下细胞膜透性的变化反映了植物受伤害的程度<sup>[16]</sup>,丙二醛含量是植物细胞膜质过氧化程度的体现,很多研究显示干旱胁迫时细胞原生质膜透性和丙二醛含量都增加,因此,质膜透性和丙二醛含量常作为衡量植物细胞受伤害程度的指标<sup>[28-29]</sup>。该研究中不同浓度 PEG 胁迫的第 8 天 5 种菊科植物质膜相对透性(相对电导率)和丙二醛含量都显著高于第 0 天的值,胁迫的 PEG 浓度越大其增幅越大。与田治国<sup>[25]</sup>和范苏鲁等<sup>[19]</sup>的研究结果一致。但干旱胁迫下 5 种植物叶片内丙二醛含量随着时间的变化规律有一定差异,3 种胁迫程度下都是抗旱性相对较强的天人菊、孔雀草和万寿菊的丙二醛含量呈先降后升的趋势,而抗旱性相对较弱的雏菊和金鸡菊的丙二醛含量一直呈持续上升趋势。可能是前期天人菊、孔雀草和万寿菊酶保护防御系统先启动,当过氧化程度加深后,防御系统失去作用,丙二醛含量开始上升。

### 3.2 抗旱性评价

植物的抗旱性表现为多种性状,另外,同品种不同生理指标在干旱胁迫下变幅不同,因此不能根据单个指标评价品种间抗旱性的差异,只有通过多个指标的综合评定,用以减少单一指标的试验误差,结果才比较全面准确<sup>[30]</sup>。有学者运用主成分分析法<sup>[31]</sup>、隶属函数法<sup>[32]</sup>和聚类分析法<sup>[33]</sup>以及主成分分析结合隶属函数法<sup>[8]</sup>等综合评定方法进行植物抗旱性的评价。该研究由于只涉及到 5 个生理指标,因此仅采用隶属函数法来评价植物的抗旱性。不少学者采用胁迫最后一天指标的测定值来进行隶属值的计算,评价植物抗旱性<sup>[15,32,34]</sup>,其实植

物的抗旱性与胁迫时指标的绝对值大小关系不大,关键在于胁迫后指标的变化程度。如王俊刚等<sup>[35]</sup>通过研究认为耐旱植物与可溶性蛋白质的绝对含量关系不大,却与水分胁迫后可溶性蛋白质的变化密切相关。因此该研究中将指标的变化幅度值作为隶属函数指数计算的基础,而不是采用指标的直接测定值。该研究结果表明,5 种菊科植物中天人菊和孔雀草抗旱性较强,而雏菊和金鸡菊抗旱性较弱。通过生理指标的排序结果与试验中这些植物的生长指标和形态指标的状态一致。

在节水型生态城市绿化建设中,需要选用黄色系草花时,建议更多地运用天人菊、孔雀草和万寿菊等抗旱性较强的植物,较少地选用雏菊和金鸡菊等抗旱性较弱的植物。

### 参考文献

- [1] 十八大报告辅导读本编写组. 十八大报告辅导读本[M]. 北京:人民出版社,2012.
- [2] 王喜宁,武春阳,孙亚楠,等. 长春市城市土壤特性研究[J]. 内蒙古农业科技,2011(3):35-37.
- [3] 毛洪玉,祝朋芳,何小雨. 地被菊的抗寒性和光照栽培试验[J]. 辽宁农业科学,2004(4):46-48.
- [4] 杨东,张红,陈丽萍,等. 温度胁迫对 10 种菊科杂草丙二醛和可溶性糖的影响[J]. 四川师范大学学报(自然科学版),2007,30(3):391-394.
- [5] 李云,张钢,杨际双. 热激锻炼对高温胁迫下菊花生理代谢的影响[J]. 武汉植物学研究,2008,26(2):175-178.
- [6] LONG X H, LIU Z P, ZHENG Q S, et al. Effects of sea water with different concentrations on growth and physiological and biochemical characteristics of *Helianthus tuberosus* seedlings[J]. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(8):1881-1889.
- [7] 吴成龙,周春霖,尹金来,等. 碱胁迫对不同品种菊芋幼苗生物量分配和可溶性渗透物质含量的影响[J]. 中国农业科学,2008,41(3):901-909.
- [8] 田治国,王飞,张文娥,等. 多元统计分析方法在万寿菊品种抗旱性评价中的应用[J]. 应用生态学报,2011,22(12):3315-3320.
- [9] 田治国,王飞,张文娥,等. 万寿菊属不同品种初花期抗旱特性分析[J]. 西北植物学报,2011,31(7):1390-1399.
- [10] ZHANG M D, CHEN Q, SHEN S H. Physiological responses of two Jerusalem Artichoke cultivars to drought stress induced by polyethylene glycol[J]. Acta Physiol Plant, 2011, 33:313-318.
- [11] RUTTANACHIRA R, PORAMATE B, SANUN J, et al. Genotypic variability for tuber yield, biomass and drought tolerance in Jerusalem Artichoke germplasm[J]. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 2014, 38: 570-580.
- [12] 陈建勋,王晓峰. 植物生理学实验指导[M]. 广州:华南理工大学出版社,2000.
- [13] 李仁所. 模糊数学[M]. 泰安:山东农业大学出版社,1998:93-94.
- [14] 辛国荣,董美玲,宋淑明. 牧草抗旱性研究 2 水分胁迫下 8 种燕麦品种的抗旱性综合评价[J]. 草业科学,1996,13(6):30-34.
- [15] 王宇超,王得祥,彭少兵,等. 干旱胁迫对木本滨藜生理特性的影响[J]. 林业科学,2010,46(1):61-67.
- [16] 常福辰,陆长梅,沙莎. 植物生物学实验[M]. 南京:南京师范大学出版社,2007:156-157.

- [17] WU F Z, BAP W K, LI F L, et al. Effects of drought stress and N supply on the growth, biomass partitioning and water use efficiency of *Sophora davidii* seedlings[J]. Environmental and Experimental Botany, 2008, 63: 248-255.
- [18] 初晓辉, 刀丽琼, 谢堂民, 等. 马蹄金草坪草对干旱胁迫的生理响应研究[J]. 草地学报, 2014, 22(1): 134-138.
- [19] 范苏鲁, 苑兆和, 冯立娟, 等. 干旱胁迫对大丽花生理生化指标的影响[J]. 应用生态学报, 2011, 22(3): 651-657.
- [20] 孔德政, 于红芳, 李永华, 等. 干旱胁迫对不同品种菊花叶片光合生理特性的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2010, 38(11): 103-108.
- [21] 吴嘉雯, 王庆亚. 干旱胁迫对野生和栽培蒲公英抗性生理生化指标的影响[J]. 江苏农业学报, 2010, 26(2): 264-271.
- [22] 吴志华, 曾富华, 马生健, 等. ABA对PEG胁迫下狗牙根可溶性蛋白质的影响[J]. 草业学报, 2004, 13(5): 75-78.
- [23] 康俊梅, 杨青川, 樊奋成. 干旱对苜蓿叶片可溶性蛋白的影响[J]. 草地学报, 2005(9): 199-202.
- [24] 刘红云, 梁宗锁, 刘淑明, 等. 持续干旱及复水对杜仲幼苗保护酶活性和渗透调节物质的影响[J]. 西北林学院学报, 2007, 22(3): 55-59.
- [25] 田治国. 万寿菊属植物耐热性与抗旱性的评价及生长生理特性的研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2012.
- [26] 张学昆, 范其新, 陈洁, 等. 不同耐湿基因型甘蓝型油菜苗期对缺氧胁迫的生理差异响应[J]. 中国农业科学, 2007, 40(3): 485-491.
- [27] 吕金印, 郭涛. 水分胁迫对不同品种甜高粱幼苗保护酶活性等生理特性的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2010, 28(4): 89-93.
- [28] 万里强, 石永红, 李向林, 等. PEG胁迫下3个多年生黑麦草品种抗性生理研究[J]. 草地学报, 2009, 17(4): 440-444.
- [29] 尹永强, 胡建斌, 邓明军. 植物叶片抗氧化系统及其对逆境胁迫的响应研究进展[J]. 中国农学通报, 2007, 23(1): 105-110.
- [30] 张智猛, 万书波, 戴良香, 等. 花生抗旱性鉴定指标的筛选与评价[J]. 植物生态学报, 2011, 35(1): 100-109.
- [31] 罗丹, 陈红跃, 刘乾. 5种屋顶绿化植物抗旱性研究[J]. 广东林业科技, 2009, 25(6): 81-85.
- [32] 王勇, 韩蕊莲, 梁宗锁. 水分胁迫对4种菊科蒿属植物抗氧化特性的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2010, 38(10): 178-186.
- [33] 孙静, 曾俊, 王银杰, 等. 20个切花菊品种抗旱性评价与筛选[J]. 南京农业大学学报, 2013, 36(1): 24-28.
- [34] 魏秀俊. 玉米自交系苗期耐旱性鉴定指标的模糊综合评价[J]. 聊城大学学报(自然科学版), 2005, 18(1): 45-48.
- [35] 王俊刚, 陈国仓, 张承烈. 水分胁迫对2种生态型芦苇的可溶性蛋白含量、SOD、POD、CAT活性的影响[J]. 西北植物学报, 2002, 22(3): 561-565.

## Physiological Response of Seedlings of Five Yellow Compositae Species to Drought Stress and Their Drought Resistance

LIU Min<sup>1,2</sup>, LI Yue<sup>3</sup>, JI Wenxian<sup>1</sup>, LIANG Yan<sup>1</sup>, ZHANG Zhi<sup>1</sup>, CHEN Yang<sup>1</sup>

(1. College of Agriculture, Forestry and Life Science, Qiqihar University, Qiqihar, Heilongjiang 161006; 2. Key Laboratory of Forest Plant Ecology of Ministry of Education, Northeast Forestry University, Harbin, Heilongjiang 150040; 3. College of Chemistry and Chemistry Engineering, Qiqihar University, Qiqihar, Heilongjiang 161006)

**Abstract:** In order to select strong drought resistance plants which were suitable for construction of water-saving landscape, five yellow compositae species (*Tagetes erecta*, *Tagetes patula*, *Bellis perennis*, *Coreopsis drummondii*, *Gaillardia pulchella*) were chosen as test material to study their leaves physiological responses to different degrees of drought stress and evaluate their drought resistance. The seedlings were treated with 10%, 20% and 30% PEG 6000 to simulate mild, moderate and severe drought stress, respectively. Chlorophyll content, soluble protein content, proline content, plasma membrane relative permeability and MDA content of leaves were measured. The results showed that seedlings of these five plant species under three kinds of PEG concentration stress showed the same change as following: with increasing time of drought stress, the chlorophyll content continuously decreased; the soluble protein content rose initially and then fell; plasma membrane relative permeability and proline content continuously increased; the amplitude of the indicators caused by the higher concentration of PEG was larger than that by the lower concentration PEG. But the changing rules of the MDA content of five species seedlings were different. The content of MDA of *T. erecta*, *T. patula* and *G. pulchella* decreased followed by an increase, whereas the other two species seedling types continuously increased. Membership function analysis method was used to evaluate the drought resistance of the five seedlings. Under mild and moderate drought stress, the drought resistance of *G. pulchella* was the strongest, *T. patula* was the second, and *B. perennis* was the weakest. While under severe drought stress, the drought resistance of *T. patula* was the strongest, *Gaillardia pulchella* was the second, and *Bellis perennis* was the weakest.

**Keywords:** drought resistance; membership function; drought stress; physiological response; water-saving landscape; Compositae