

PEG胁迫对香石竹幼苗的影响及香石竹抗旱性评价

孔维龙 闫艳丽 杨绍宗 但乃震 王禹璐 包满珠 傅小鹏

华中农业大学园艺林学学院/园艺植物生物学教育部重点实验室, 武汉 430070

摘要 为探究干旱胁迫对香石竹幼苗的影响, 鉴定香石竹各品种的抗旱能力, 以9个香石竹品种为研究对象, 采用PEG 6000模拟干旱胁迫, 分析叶片相对含水量(R_{wc})、超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)、可溶性蛋白、丙二醛(MDA)、脯氨酸(Pro)等7个生理生化指标的变化, 并基于这7个理化指标的抗旱指数, 对香石竹各品种进行主成分分析及综合评价。结果表明: 9个香石竹品种在水分胁迫处理时各品种各指标存在显著差异($P < 0.05$)。将7个抗旱指标用主成分分析法归纳成3个主成分, 累积贡献率为84.46%, 利用隶属函数法评定的抗旱性强弱顺序为马斯特、苔丝、皇族、紫罗兰、火焰、粉恋、锦葵钛合金、粉黛、自由。

关键词 香石竹; 干旱胁迫; PEG 6000; 主成分分析; 综合评价

中图分类号 S 681.5 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2017)06-0017-07

香石竹(*Dianthus caryophyllus* L.)是全球重要的商业切花之一, 在许多国家其受欢迎程度仅次于玫瑰, 意大利、西班牙、法国、荷兰、德国、美国、印度等国广泛种植^[1], 在保加利亚, 75%的温室栽种香石竹^[2]。作为世界四大鲜切花材料之一, 其色彩丰富, 有红色、粉红色、白色、紫色、橘红色、浅绿色、蓝色及复色等。香石竹体态玲珑、斑斓雅洁、端庄大方、芳香清幽, 被称作“母亲花”, 其生产量约占全球鲜切花的17%。矮生品种还可用于盆栽观赏, 地被品种可以用于园林绿化。此外, 其花朵可提炼香精, 根茎可以作为药材使用, 治疗牙痛、头痛等具有显著疗效, 具有极高的观赏和经济价值^[3-5]。干旱对作物的伤害在所有非生物胁迫中占首位^[6], 每年因干旱导致作物减产达50%以上, 是严重制约农业生产的世界性问题, 同时干旱也是威胁香石竹发展的重要难题。干旱胁迫不仅影响香石竹幼苗的生长和发育, 而且影响成年香石竹的产量与品质。严重的干旱灾害可导致香石竹大面积死亡、切花产量下降、观赏价值降低, 极端情况可导致绝收, 损失惨重。提高植物的耐旱能力、选育优良抗旱品种是减少干旱威胁、节约水资源的有效途径, 筛选耐旱品种是植物抗旱育种的前提, 如何准确、合理地评价品种抗旱性是筛选耐旱品种的关键。

本研究以20% PEG 6000模拟干旱处理不同香石竹品种, 分析水分胁迫条件下叶片相对含水量(R_{wc})、超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)、可溶性蛋白、丙二醛(MDA)、脯氨酸(Pro)等7个生理生化指标的变化, 利用主成分分析结合隶属函数法综合评价各品种抗旱性, 旨在为香石竹水分亏缺响应机制研究和石竹属植物的抗旱性育种研究提供参考, 并为抗旱种质的筛选提供可借鉴的方法。

1 材料与方法

1.1 材料

供试材料均来自于华中农业大学园艺林学学院园艺植物生物学教育部重点实验室, 各品种^[7]详情如表1。

1.2 幼苗培养及胁迫处理

选择长势一致、生长健壮的苗龄6周组培苗, 经炼苗后种植于以珍珠岩为栽培基质的培养皿中, 每隔2 d浇灌1次1/2 Hoagland's 营养液, 所有材料生长于华中农业大学园艺植物生物学教育部重点实验室组培室, 培养条件为: 光照16 h/黑暗8 h, 温度25℃, 湿度45%。栽培基质培养3周后, 以1/2 Hoagland's 营养液作为溶剂配制20% PEG 6000

收稿日期: 2017-06-25

基金项目: 国家自然科学基金(31000918); 中央高校基本科研业务费专项(2662015PY052; 2662016PY041)

孔维龙, 硕士. 研究方向: 观赏植物抗性育种. E-mail: Asuraprince@126.com

通信作者: 傅小鹏, 博士, 副教授. 研究方向: 园林植物遗传育种与生物技术. E-mail: fuxiaopeng@mail.hzau.edu.cn

溶液进行胁迫处理,在 0、2、4、5、6、7 d 取中上部叶片进行生理生化指标测定,每个品种 90 株,其中对照 12 株,对照处理为同质量的 1/2 Hoagland's 营

养液。测量各指标时,随机取材于 3 个植株,测量结果为 3 个生物学重复的平均值,误差源于 3 个生物学重复。

表 1 试验材料及来源

Table 1 Test materials and source

编号 No.	品种名 Cultivar name	品种缩写 Cultivar abbreviation	拉丁文学名 Latin names	花色 Flower color
1	火焰	FM	<i>D. caryophyllus</i> 'Flame'	橘红复色 Orange compound color
2	锦葵钛合金	MT	<i>D. caryophyllus</i> 'Mallow Titanium Alloy'	白底紫边 White ground with purple edge
3	紫罗兰	VL	<i>D. caryophyllus</i> 'Violet'	紫底白边 Purple color with white edge
4	粉黛	PS	<i>D. caryophyllus</i> 'Pink Superior'	粉黛 Pink color
5	马斯特	MS	<i>D. caryophyllus</i> 'Master'	红 Red color
6	苔丝	TS	<i>D. caryophyllus</i> 'Tess'	红底白边 Red ground with white edge
7	自由	FD	<i>D. caryophyllus</i> 'Freedom'	黄 Yellow color
8	皇族	RY	<i>D. caryophyllus</i> 'Royal'	粉底白边 Pink ground with white edge
9	粉恋	PL	<i>D. caryophyllus</i> 'Pink Love'	浅粉 Light pink color

1.3 理化指标测定方法

1) 叶片相对含水量测定。采用称重法:将新鲜的香石竹叶片剪成 0.5 cm 左右的小段,随机取材于 3 个植株,作为 3 个生物学重复;每个植株样品分成 3 等份,作为 3 个平行测量之用。称量每份鲜质量 m_f ,浸入盛有蒸馏水的 10 mL 离心管中,期间颠倒振荡 2~3 次促进叶片吸水,75 min 后称其饱和质量 m_t ,然后放入烘箱,105 °C 杀青 0.5 h,80 °C 烘干至恒质量 m_d ^[8]。相对含水量 $R_{wc} = (m_f - m_d) / (m_t - m_d) \times 100\%$ 。

2) SOD、POD、CAT、可溶性蛋白测定。均使用粗酶液测定,粗酶提取参照文献[9]进行;取叶片 0.5 g 于预冷后的研钵中,加入 3 mL 磷酸缓冲液(50 mmol/L, pH 7.8, 含 1 mmol/L EDTA),冰浴研磨,匀浆转移至 10 mL 离心管中,再用 2 mL 磷酸缓冲液冲洗研钵,合并冲洗液于 10 mL 离心管中,于 4 °C 下 10 000 r/min 离心 20 min。上清液于 4 °C 保存备用。

SOD 活性采用氮蓝四唑(NBT)法^[10],POD 活性采用愈创木酚法^[11],CAT 活性采用 Chance 方法^[12],可溶性蛋白采用考马斯亮蓝 G-250 染色法^[10]。

3) MDA、Pro 含量测定。MDA 含量采用硫代巴比妥酸比色法^[10];Pro 含量采用酸性茚三酮比色法^[10]。

1.4 统计分析

根据(1)式计算出各品种各指标的抗旱指数^[13];利用 SPSS V19.0 软件对各品种的抗旱指数

进行主成分分析,得出综合指标;根据式(2)、(3)计算出各综合指标隶属函数值 U 、抗旱权重 W ,根据式(4)计算出各品种抗旱度综合评价值 D ,对各品种的抗旱性进行排序;采用 SPSS V19.0 软件利用组间连接法对各品种 D 值进行聚类分析。各计算公式如下:

$$\text{抗旱指数 } I_R = (Y_d / Y_a) \times (Y_d / \bar{Y}_d) \quad (1)$$

$$\text{隶属函数值 } U(X_{ij}) = (X_{ij} - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) \quad (2)$$

$$\text{抗旱权重 } W_j = P_j / \sum_{j=1}^n P_j \quad (3)$$

$$\text{抗旱度量值 } D_i = \sum_{j=1}^n [U(X_{ij}) \times W_j] \quad (4)$$

式(1)中 Y_d 为第 2 次至第 6 次采样各品种各指标测定值的平均值; Y_a 为各品种各指标第 1 次采样测定值的平均值; \bar{Y}_d 为所有品种 Y_d 的平均值。式(2)中 $U(X_{ij})$ 为第 i 个香石竹品种的第 j 个综合指标的隶属函数值; X_{ij} 为第 i 个香石竹品种的第 j 个综合指标值; X_{\min} 、 X_{\max} 为各组所有香石竹品种中第 j 个综合指标中的最小值、最大值。式(3)中 W_j 为第 j 个综合指标的权重; P_j 为第 j 个综合指标的贡献率。式(4)中 D_i 为第 i 个香石竹品种的综合评价值; $U(X_{ij})$ 为第 i 个香石竹品种的第 j 个综合指标的隶属函数值; W_j 为第 j 个综合指标的权重。

利用 Excel 2007 进行数据整理,利用 SAS 8.1 进行方差分析^[14],利用 SPSS V19.0 软件进行主成分分析,相关性分析及聚类分析^[15]。

2 结果与分析

2.1 PEG 胁迫下香石竹各理化指标的响应

1) 叶片相对含水量。随 PEG 处理时间的延长, 9 个香石竹品种的相对含水量均呈现下降趋势, 且

各处处理品种间存在显著差异 ($P < 0.05$) (表 2)。 R_{wc} 降幅较大说明材料在 PEG 胁迫下的耐受力较弱, 叶片保水能力较差, 其中下降幅度最大的是品种 MS, 降幅最小的品种为 FD, 表明 FD 的抗旱能力相对较强。

表 2 20% PEG 处理对 9 个香石竹品种叶片 R_{wc} 的影响

Table 2 Effect of 20% PEG on relative water content in leaves of 9 varieties of *D. caryophyllus*

品种 Cultivars	PEG 处理后时间/d Time after PEG treatment						降幅/% Decreased
	0	2	4	5	6	7	
FM	85.47b	84.31a	75.39a	70.59a	44.19def	44.15cd	48.35
MT	74.99e	73.70b	66.65bc	56.67b	50.65bcde	48.90 bc	34.78
VL	82.84bcd	80.38a	63.92c	60.15b	53.20abcd	51.40ab	37.94
PS	93.35a	81.37a	69.12bc	60.04b	56.07ab	54.06ab	42.09
MS	74.13e	67.88c	51.33e	39.81d	37.90f	30.46e	58.91
TS	79.53d	67.74c	57.94d	57.82b	54.30abc	52.28ab	34.26
FD	83.80bc	74.00 b	69.97ab	63.22ab	61.94a	56.19a	32.95
RY	82.28bcd	71.50bc	50.16e	45.47cd	45.97cdef	39.25d	52.30
PL	81.18cd	79.50a	54.20de	48.63c	43.34ef	41.94d	48.34

注: 同列中凡无相同小写字母的表示品种间差异显著 ($P < 0.05$)。下同。Note: Means with different small letters in the same column are significantly different at the 0.05 level. The same as follows.

2) 抗氧化酶系统。随 PEG 渗透胁迫程度的加剧, 所有香石竹品种叶片内的 SOD 活性整体呈现上升的趋势, 部分品种呈现先上升后下降的趋势。方差分析显示, 各品种在应对水分胁迫时 SOD 活性变化存在显著差异 ($P < 0.05$) (表 3)。9 个香石竹品种除 PS、MS、PL 等 3 个品种的 SOD 活性在处理第 6 天达到峰值外, 其余 6 个品种的 SOD 活性仍处于

上升期, 其中升幅最大的是品种 VL, 说明 VL 对活性氧具有较强的抵抗能力。

3) POD 活性。随 PEG 处理时间的延长, 类似于 SOD 活性的变化趋势, 所有香石竹品种的 POD 活性均呈现上升趋势, 各品种间 POD 活性存在显著差异 ($P < 0.05$) (表 4)。9 个香石竹品种中除 MT、MS、TS 外, 其余 6 个品种的 POD 活性均处于

表 3 20% PEG 处理对 9 个香石竹品种叶片 SOD 活性的影响

Table 3 Effect of 20% PEG on SOD activity in leaves of 9 varieties of *D. caryophyllus*

品种 Cultivars	PEG 处理后时间/d Time after PEG treatment						升幅/% Increased
	0	2	4	5	6	7	
FM	83.22de	60.10f	127.01de	142.89d	157.18ef	171.47ef	106.05
MT	85.86d	76.63e	116.42e	140.21d	151.81f	160.93f	87.43
VL	67.16e	117.06cd	158.00c	142.93d	197.05d	251.17c	274.01
PS	106.63c	113.69d	134.45d	159.50c	167.74ef	160.39ef	50.42
MS	138.23ab	148.64b	212.83a	262.80a	322.79a	198.19d	43.38
TS	122.80bc	155.49ab	164.56c	171.31c	251.59c	331.87a	170.26
FD	108.12c	128.25c	138.38d	160.27c	175.02e	189.83de	75.57
RY	118.63c	116.41cd	172.19bc	265.98a	286.04b	299.50b	152.47

表 4 20% PEG 处理对 9 个香石竹品种叶片 POD 活性的影响

Table 4 Effect of 20% PEG on POD activity in leaves of 9 varieties of *D. caryophyllus*

品种 Cultivars	PEG 处理后时间/d Time after PEG treatment						升幅/% Increased
	0	2	4	5	6	7	
FM	664.39e	680.04f	1 297.50c	1 572.17d	1 870.67d	1 937.01b	191.55
MT	814.81cd	1 263.74a	1 367.00c	1 435.32e	2 428.44a	2 258.07a	177.13
VL	844.15bcd	1 074.60b	1 659.24b	2 016.85b	2 116.89b	2 216.92a	162.62
PS	572.34f	742.31f	987.93e	1 165.71f	1 249.20g	1 513.73d	164.48
MS	806.93d	1 254.21a	1 844.86a	2 282.50a	2 395.02a	1 642.26c	103.52
TS	1 059.99a	1 225.16a	1 612.22b	1 689.71c	1 973.77c	1 678.95c	58.39
FD	867.87b	995.73c	1 007.64e	1 118.74f	1 172.97h	1 651.58c	90.30
RY	693.91e	820.00e	1 204.80d	1 748.99c	1 768.67e	2 223.19a	220.38
PL	860.00bc	916.11d	1 004.67e	1 116.47f	1 405.84f	1 428.51d	66.11

上升趋势中,且上升幅度最大的是品种 RY,某些品种出现的下降趋势可能是由于长时间干旱胁迫造成其代谢紊乱。

4)CAT 活性。随 PEG 处理时间的延长,所有香石竹品种整体呈现上升趋势,部分品种呈现先上升后下降的趋势,各品种的 CAT 活性存在显著差异($P < 0.05$)(表 5)。9 个香石竹品种中只有 FM、MT、MS 3 个品种的 CAT 活性呈现先上升后下降

的趋势,其余 6 个品种均是一直上升的趋势。

5)可溶性蛋白含量。经方差分析,所有香石竹品种的可溶性蛋白含量在 20% PEG 处理下的 6 次取样点均表现出显著差异($P < 0.05$)(表 6)。9 个香石竹品种中除 FM、MS、PL 等 3 个品种在处理 6 d 时取得极值外,其余均呈现一直上升的趋势,上升幅度最大的是 MS,其可溶性蛋白含量的最大值为处理 0 d 时的 3.9 倍。

表 5 20% PEG 处理对 9 个香石竹品种叶片 CAT 活性的影响

Table 5 Effect of 20% PEG on CAT activity in leaves of 9 varieties of *D. caryophyllus*

U/(g·min)

品种 Cultivars	PEG 处理后时间/d Time after PEG treatment						升幅/% Increased
	0	2	4	5	6	7	
FM	800.00c	940.32e	1 154.62d	1 170.37e	1 320.00f	1 186.21f	48.28
MT	755.56c	980.88e	1 366.24c	1 523.82d	1 681.40d	1 182.11f	56.46
VL	838.46c	1 431.93ab	1 821.82a	2 350.91a	2 880.00a	3 630.77a	333.03
PS	1 000.00b	1 488.00a	1 800.00a	1 763.41c	1 726.83d	2 499.01c	149.9
MS	1 211.85a	1 305.00c	1 304.69c	1 670.78cd	1 246.15f	1 038.93f	-14.27
TS	1 124.04a	1 356.01bc	1 566.67b	1 628.35cd	2 036.14c	2 762.75b	145.79
FD	570.20d	648.87f	957.17e	1 322.22e	1 520.42e	2 223.77d	290.00
RY	745.95c	986.67e	1 506.67b	2 026.67b	2 526.67b	2 693.68b	261.11
PL	833.33c	1 164.67d	1 286.31c	1 258.69e	1 611.86de	1 959.31e	135.12

表 6 20% PEG 处理对 9 个香石竹品种叶片可溶性蛋白含量的影响

Table 6 Effect of 20% PEG on soluble protein content in leaves of 9 varieties of *D. caryophyllus*

mg/g

品种 Cultivars	PEG 处理后时间/d Time after PEG treatment						升幅/% Increased
	0	2	4	5	6	7	
FM	3.10e	3.82de	6.41c	7.47b	9.00cd	8.70d	180.39
MT	4.00bc	4.31c	6.01c	6.04c	7.86e	8.13d	103.51
VL	3.24de	3.45e	7.98b	8.01b	9.20c	9.45c	191.27
PS	4.16b	4.34c	4.94d	6.40c	6.64f	8.14d	95.88
MS	4.00bc	4.28cd	7.47b	11.00a	15.79a	9.73c	142.98
TS	3.98bc	4.89b	9.89a	10.63a	11.36b	13.71a	244.9
FD	3.65cd	4.19cd	4.82d	5.60c	6.82f	7.22e	97.88
RY	4.99a	6.41a	6.50c	7.60b	10.84b	11.50b	130.52
PL	3.79bc	4.04cd	5.21d	7.57b	8.34de	7.25e	91.38

6)MDA 含量。对所有香石竹品种间进行方差分析可知,与可溶性蛋白一致,实验中 6 次采样点的 MDA 含量均存在显著差异($P < 0.05$)(表 7)。9 个香石竹品种中有 4 个品种的 MDA 含量在处理 6 d 前达到了最大值,分别为 FM、VL、MS、TS,其余 5 个品种的 MDA 含量仍是处于一直上升的状

表 7 20% PEG 处理对 9 个香石竹品种叶片 MDA 含量的影响

Table 7 Effect of 20% PEG on MDA content in leaves of 9 varieties of *D. caryophyllus*

$\mu\text{mol/g}$

品种 Cultivars	PEG 处理后时间/d Time after PEG treatment						升幅/% Increased
	0	2	4	5	6	7	
FM	4.28c	5.56e	11.37b	11.06c	25.96a	13.39de	212.90
MT	5.62ab	5.79de	6.78f	10.27c	10.20e	11.85f	110.93
VL	4.92bc	6.77c	14.05a	19.10a	23.14a	18.12b	268.28
PS	6.11a	6.23cd	8.30e	11.12c	11.99de	14.62d	139.24
MS	5.28ab	6.05de	9.82cd	12.50c	16.59bc	10.48g	98.53
TS	4.06c	5.60e	12.13b	16.29b	14.00bcd	11.71fg	188.44
FD	4.26c	9.14a	10.81bc	12.68c	13.39cde	16.57c	289.12
RY	2.34d	5.98de	8.69de	11.85c	17.18b	23.70a	912.73
PL	4.28c	8.37b	11.89b	12.07c	12.26de	12.53ef	192.37

态。其中变化幅度最小的为品种 MT,变化幅度最大的为品种 RY,分别为处理 0 d 时的 2.1 倍、10.1 倍。

7)Pro 含量。由方差分析的结果可知,所有品种的 Pro 含量在 6 个采样点上均存在显著差异 ($P < 0.05$)(表 8)。9 个香石竹品种中有 5 个品种(FM、MT、VL、MS、PL)脯氨酸含量先上升后下降,且均在处理 6 d 时达到最大值,另外 4 个品种均在处理 7 d 时取得最大值,变化幅度最大的是品种 TS,处理 7 d 时的脯氨酸含量是处理 0 d 时

的 227 倍。

2.2 抗旱性综合评价

1)主成分分析。利用 SPSS V19.0 软件对香石竹品种的抗旱指数进行主成分分析。前 3 个主成分的累积贡献率为 84.46%,表示前 3 个主成分代表了全部信息的 84.46%,将原来的 7 个指标转换为相互独立的 3 个综合指标(用 F 表示,下同)。

2)综合评价。由表 10 可知,9 个香石竹品种中 D 值由大到小依次为 MS、TS、RY、VL、FM、

表 8 20% PEG 处理对 9 个香石竹品种叶片脯氨酸含量的影响

Table 8 Effect of 20% PEG on proline content in leaves of 9 varieties of *D. caryophyllus*

$\mu\text{g/g}$

品种 Cultivars	PEG 处理后时间/d Time after PEG treatment						升幅/% Increased
	0	2	4	5	6	7	
FM	20.78b	143.06b	534.44d	676.33de	996.54c	646.84e	3 013.46
MT	78.61a	187.07a	321.27e	352.09g	502.96g	476.63f	506.33
VL	17.77bc	42.91g	761.43b	798.18bc	1 713.17a	691.38de	3 791.33
PS	9.50cd	57.95e	245.47e	609.82e	716.40f	822.98c	8 560.17
MS	8.17d	95.00c	946.49a	1 084.19a	1 449.84b	927.40b	11 254.98
TS	6.38d	94.05c	821.43b	854.06b	886.69de	1 447.77a	22 600.12
FD	4.72d	57.33ef	239.49e	455.22f	569.28g	757.28cd	15 927.99
RY	8.14d	44.56fg	639.22c	741.18cd	943.05cd	1 017.54b	12 408.17
PL	8.88cd	80.15d	482.12d	764.74c	799.26ef	670.34de	7 451.21

表 9 各综合指标的特征向量系数、贡献率及权重

Table 9 Feature vector coefficient, contribution and weight of every comprehensive indexes

综合指标 Comprehensive indicators	R_{wc}	SOD	POD	CAT	MDA	Pro	可溶性蛋白 Soluble protein	贡献率/% Contribution rate	相应权重 Corresponding weight
F_1	-0.374	0.517	0.287	0.198	-0.311	0.428	0.438	46.941	0.556
F_2	-0.246	-0.193	0.061	-0.654	0.512	0.345	0.300	24.971	0.296
F_3	0.177	-0.121	0.895	0.034	0.135	-0.344	0.124	12.548	0.149

表 10 各香石竹品种的综合指标值、隶属函数值、 D 值及排序

Table 10 The comprehensive indexes value, membership function value, D value and order of every *D. caryophyllus* cultivars

品种 Cultivars	F_1	F_2	F_3	$U(X_{i1})$	$U(X_{i2})$	$U(X_{i3})$	D	排序 Ranking
FM	-1.105	0.252	0.732	0.206	0.532	0.747	0.383	5
MT	-1.961	0.354	1.422	0.000	0.555	1.000	0.313	7
VL	1.467	-2.127	0.874	0.825	0.000	0.799	0.577	4
PS	-1.866	0.008	-0.256	0.023	0.478	0.385	0.211	8
MS	2.161	2.343	0.573	0.992	1.000	0.689	0.949	1
TS	1.564	1.029	-0.814	0.848	0.706	0.181	0.707	2
FD	-1.791	-0.542	-0.926	0.041	0.354	0.139	0.148	9
RY	2.196	-1.542	-0.299	1.000	0.131	0.369	0.649	3
PL	-0.665	0.225	-1.306	0.312	0.526	0.000	0.329	6

PL、MT、PS、FD。前 3 个 MS、TS、RY 的 D 值分别为 0.949、0.707、0.649。这 3 个品种的 D 值较大,说明其抗旱性能较好。

3)聚类分析。采样组间连接法对 D 值进行聚类分析(图 1),当距离取值为 10 时,9 个香石竹品种被划分成 3 类。MS 为抗旱性较强的品种,TS、RY、

VL 为抗旱性中等的品种,其余 5 个为抗旱性较弱的品种。

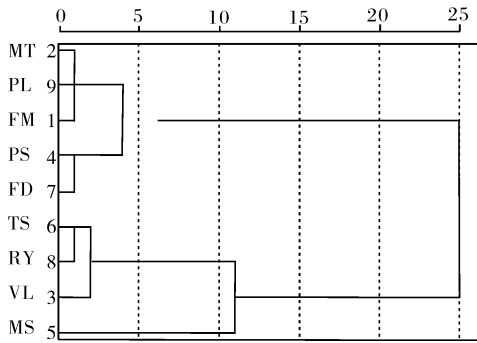


图 1 香石竹品种的聚类分析

Fig.1 Cluster analysis of *D. caryophyllus* cultivars

3 讨论

植物抗旱性受多基因控制,是复杂的数量性状,用任何单一指标研究植物抗旱性都具有一定局限性^[6,16-18]。本研究采用抗旱指数指标,其不仅包括了抗旱系数代表的植物逆境反应能力,还综合了逆境条件下的丰产能力,抗旱指数越高,表示植物的抗旱性和丰产性的综合能力越强。抗旱指数作为对植物进行抗旱性评价的重要指标,已经得到大多数学者的认同^[19-20]。本研究选择抗旱指数作为主成分分析的指标,对筛选出既抗旱又丰产的香石竹品种具有重要意义。此外,在多指标的研究过程中,变量个数较多,彼此间往往存在着一定程度的相关性,使得测定的数据在一定程度上存在着信息重叠,主成分分析通过降维的方法,在损失很少信息的前提下把多个指标转化为互不相关的几个综合指标^[21],具有全面性、可比性、客观合理性等优点^[22]。本研究通过主成分分析结合隶属函数法对香石竹主要品种进行了综合评价,在 9 个试验品种中‘马斯特’抗旱性最好,同时也是切花市场最为受欢迎、产量最大的切花品种,其优势的表现与其良好的抗旱性密切相关。

目前,大多数学者都选择在苗期对作物进行抗旱性鉴定^[23-27],并且在小麦、玉米、水稻、大豆等作物上表现出与大田试验结果较好的一致性^[28]。与其他生育阶段相比,在苗期鉴定不仅可以缩短鉴定周期、便于逆境处理的实施,还可以快速地对众多的种质资源进行抗旱性筛选,加快抗旱育种进程^[29]。香石竹幼苗生长状态良好、生长迅速,且对水分的需求比较旺盛,本研究采用香石竹幼苗模拟水分胁迫获

得了比较好的效果,鉴定了各品种的抗旱性,加快了抗旱品种筛选的进程,为田间抗旱鉴定提供了参考,为未来抗旱育种筛选出优秀种质。

参 考 文 献

- [1] KANWAR J K, KUMAR S. Recovery of transgenic plants by *Agrobacterium*-mediated genetic transformation in *Dianthus caryophyllus* L. (carnation) [J]. *Freshwater biology*, 1988, 19 (3): 357-369.
- [2] IANTCHEVA A. Somatic embryogenesis and genetic transformation of carnation (*Dianthus caryophyllus* L.) [M]. New Delhi: Springer India, 2016.
- [3] MUJIB A. Somatic embryogenesis in ornamentals and its applications [M]. New Delhi: Springer India, 2016: 677-683.
- [4] 孔维龙, 胡瑞, 包满珠, 等. 香石竹水孔蛋白基因的克隆及表达分析 [J]. *园艺学报*, 2017, 44(3): 515-527.
- [5] 傅小鹏. 石竹自交系遗传多样性评价及杂种优势的研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2008.
- [6] 包秀霞, 包秀平, 廉勇. 干旱胁迫对内蒙古草原多根葱生理生化指标的影响 [J]. *华北农学报*, 2017, 32(1): 233-238.
- [7] 胡瑞, 包满珠, 吴晓庆, 等. 香石竹表型多样性分析及利用 [J]. *华中农业大学学报*, 2015, 34(2): 16-23.
- [8] 高俊凤. 植物生理学实验指导 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [9] QIU Z, GUO J, ZHU A, et al. Exogenous jasmonic acid can enhance tolerance of wheat seedlings to salt stress [J]. *Ecotoxicology & environmental safety*, 2014, 104(1): 202-208.
- [10] 李合生. 现代植物生理学 [M]. 3 版. 北京: 高等教育出版社, 2012.
- [11] 孙群, 胡景江. 植物生理学研究技术 [M]. 杨凌: 西北农林科技大学出版社, 2006.
- [12] 王学奎. 植物生理生化试验原理和技术 [M]. 2 版. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [13] 金秀锋, 王宪国, 任万杰, 等. 一个水分胁迫应答蛋白与小麦抗旱性的关系及其基因的定位 [J]. *作物学报*, 2014, 40(2): 198-204.
- [14] 武燕奇, 郭素娟. 5 个板栗品种对干旱胁迫的生理响应及抗旱性评价 [J]. *东北林业大学学报*, 2017, 45(1): 20-24.
- [15] 贾秀峰, 李波. PEG 模拟干旱评价苜蓿幼苗抗旱性试验 [J]. *黑龙江畜牧兽医*, 2017(7): 155-157.
- [16] 李瑞雪, 汪泰初, 陈丹丹, 等. 植物抗旱性鉴定评价方法及抗旱机制研究进展 [J]. *生物技术通报*, 2017(7): 1-6.
- [17] 任鹏, 赵宝平, 刘瑞芳, 等. 水分胁迫对燕麦穗颖渗透调节和抗氧化能力的影响 [J]. *西北植物学报*, 2014, 34(10): 2049-2055.
- [18] 李楠, 孙航, 张妹哲, 等. 辽河保护区五种委陵菜在 PEG 胁迫下渗透调节物质可溶性蛋白质与脯氨酸变化 [J]. *湖北农业科学*, 2016, 55(8): 1936-1938.

- [19] 王士强,胡银岗,余奎军,等.小麦抗旱相关农艺性状和生理生化性状的灰色关联度分析[J].中国农业科学,2007,43(11): 2452-2459.
- [20] 张灿军,冀天会,杨子光,等.小麦抗旱性鉴定方法及评价指标研究 I 鉴定方法及评价指标[J].中国农学通报,2007,23(9): 226-230.
- [21] 李小胜,陈珍珍.如何正确应用 SPSS 软件做主成分分析[J].统计研究,2010,27(8): 105-108.
- [22] 陈衍泰,陈国宏,李美娟.综合评价方法分类及研究进展[J].管理科学学报,2004,7(2): 69-79.
- [23] 孟林,毛培春,张国芳,等.17个苜蓿品种苗期抗旱性鉴定[J].草业科学,2008,25(1): 21-25.
- [24] 王敏,张从宇,马同富,等.大豆品种苗期抗旱性研究[J].中国油料作物学报,2004,26(3): 30-33.
- [25] 霍红,张勇,陈年来,等.干旱胁迫下五种荒漠灌木苗期的生理响应和抗旱评价[J].干旱区资源与环境,2011,25(1): 185-189.
- [26] 谢小玉,张霞,张兵.油菜苗期抗旱性评价及抗旱相关指标变化分析[J].中国农业科学,2013,46(3): 476-485.
- [27] 王贺正,李艳,马均,等.水稻苗期抗旱性指标的筛选[J].作物学报,2007,33(9): 1523-1529.
- [28] 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.
- [29] 谢建坤,胡标林,万勇,等.东乡普通野生稻与栽培稻苗期抗旱性的比较[J].生态学报,2010,30(6): 1665-1674.

Effects of PEG stress on carnation seedlings and evaluating drought resistance of different carnation

KONG Weilong YAN Yanli YANG Shaozong DAN Naizhen
WANG Yulu BAO Manzhu FU Xiaopeng

*Key Laboratory of Horticultural Plant Biology, Ministry of Education/
College of Horticulture and Forestry Sciences, Huazhong Agricultural University,
Wuhan 430070, China*

Abstract The relative water content (RWC), superoxide dismutase (SOD), peroxidase (POD), catalase (CAT), soluble protein, malondialdehyde (MDA) and proline (Pro) under drought stress at 20% PEG 6000 concentration were studied to explore the effect of drought stress on carnation seedlings and evaluate the drought resistance of 9 varieties of carnation. Based on the drought resistance index of these seven physical and chemical indexes, the principal component analysis and comprehensive evaluation of all varieties of carnation were carried out. The results showed that there were significant differences among the indexes of 9 carnation cultivars under water stress ($P < 0.05$). Seven drought resistance indexes were classified into four principal components by principal component analysis, with the cumulative contribution rate of 84.46%. The drought resistance evaluated by the membership function method is in the order of 'Master', 'Tess', 'Royal', 'Violet', 'Flame', 'Pink Love', 'Mallow Titanium Alloy', 'Pink Superior', 'Freedom'.

Keywords carnation; drought stress; PEG 6000; principal component analysis; comprehensive evaluation

(责任编辑:张志钰)