

杜玉玲,潘晨慧,李丹阳,等. 利用隶属函数值法对 7 种一、二年生花卉耐盐性的综合评价[J]. 江苏农业科学,2017,45(6):105-111.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.06.026

利用隶属函数值法对 7 种一、二年生花卉耐盐性的综合评价

杜玉玲,潘晨慧,李丹阳,闫永庆

(东北农业大学园艺园林学院,黑龙江哈尔滨 150030)

摘要:为研究不同一、二年生花卉的耐盐性,选取矮牵牛、百日草、一串红、孔雀草、千日红、万寿菊、细叶美女樱等 7 种园林绿化常见花卉为试验材料,采用盆栽试验法,NaCl 浓度设 0(CK)、50、100、150、200 mmol/L 共 5 个梯度进行胁迫处理,测定不同花卉相关生理指标的变化,并采用隶属函数法,对不同花卉的耐盐性进行综合评价。结果表明,随着 NaCl 浓度的升高,7 种花卉叶片相对含水量呈先降低(≤ 150 mmol/L)后升高的趋势;千日红叶绿素含量随 NaCl 浓度升高而增加,矮牵牛、百日草、一串红叶绿素含量呈逐渐下降趋势,孔雀草、万寿菊、细叶美女樱呈先升高(≤ 50 mmol/L)后降低的趋势;7 种花卉叶片电解质外渗率随着 NaCl 浓度的增加呈上升趋势;百日草叶片 MDA 含量呈先升高(≤ 50 mmol/L)后降低趋势,万寿菊(≤ 150 mmol/L)和细叶美女樱(≤ 100 mmol/L)叶片 MDA 含量呈先降低后升高趋势,矮牵牛、一串红、孔雀草、千日红叶片 MDA 含量随着 NaCl 浓度的升高呈逐渐上升趋势;千日红脯氨酸含量随 NaCl 浓度的增加变化不显著,其余 6 种花卉脯氨酸含量均随盐浓度升高逐渐上升;7 种花卉叶片可溶性糖含量随着 NaCl 浓度的增加均呈先上升后下降趋势;千日红、万寿菊可溶性蛋白含量随着 NaCl 浓度的升高变化不显著,而矮牵牛、百日草、一串红、孔雀草、细叶美女樱先降低后升高再降低。综合分析评价 7 种花卉耐盐能力依次为千日红 > 百日草 > 矮牵牛 > 细叶美女樱 > 一串红 > 万寿菊 > 孔雀草。

关键词:一、二年生花卉;耐盐性;细胞膜透性;渗透调节物质;隶属函数法

中图分类号: Q945.79 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)06-0105-07

日益严重的土壤盐渍化问题影响着农业生产及生态环境,是全球面临的危机之一。全世界盐渍土面积已超过土地总面积的 7%^[1],我国约有盐渍土 0.7 亿 hm^2 ^[2]。随着我国人口的不增长,工业废弃物的排放逐渐增多,使土壤盐渍化加重,导致生态环境严重恶化。因此,盐碱地环境条件的改善是我国需要解决的重要问题,而在盐碱地上栽植园林植物是对盐碱地改良的重要措施。一、二年生花卉是城市园林绿化中不可缺少的要素,对城市的景观功能、环境功能和生态功能具有十分重要的作用^[3]。通常在一个城市中存在的盐碱地盐碱程度也不同,大多数草本花卉会因土壤的盐碱度过大而受到影响,因此选择耐盐性强的花卉不仅可以对盐碱化土壤有

美化作用,还可以逐步改善生态环境。目前,针对一、二年生花卉种子萌发期耐盐性的研究较多,而从生理特性角度出发的研究尚少。植物的耐盐性在个体的不同发育阶段其抗盐能力存在差异^[4-5]。细胞膜结构和功能的紊乱和膜透性的变化是逆境胁迫作用的关键所在^[6]。植物在盐胁迫下细胞内活性氧开始增加,从而启动膜脂过氧化作用,该作用的最终产物丙二醛会严重损伤细胞膜,其含量多少可以代表质膜在盐胁迫下受损伤程度^[7],同时引起细胞膜的完整性降低,选择透性丧失,电解质外渗率增大。盐胁迫下,脯氨酸、可溶性糖和可溶性蛋白是植物体内的主要渗透调节物质,植物通过积累脯氨酸维持细胞内环境的稳定,从而增强植物的耐盐能力;可溶性糖和可溶性蛋白在盐胁迫下可以增强对细胞膜和原生胶体的稳定作用^[8]。本试验选择城市绿化常用的 7 种一、二年生花卉为试验材料,测定在 NaCl 胁迫下叶片相对含水量、叶绿素含量、细胞膜透性和渗透调节物质含量等生理指标的变化,并利用隶属函数值法比较这 7 种花卉耐盐性的强弱,从而为城市盐碱地区园林绿化植物的选择提供一定的理论依据与实践参考。

收稿日期:2016-08-17

基金项目:黑龙江省自然科学基金(编号:C201427)。

作者简介:杜玉玲(1992—),女,山东聊城人,硕士研究生,主要从事园林植物逆境生理生态的研究。E-mail:duyuling2010@126.com。
通信作者:闫永庆,博士,教授,主要从事植物逆境生理及园林植物应用研究。E-mail:yanyongqing1966@163.com。

[17] Bohnert H J, Jebson R G. Strategies for engineering water-stress tolerance in plants[J]. Trends in Biotechnology, 1996, 14(3): 89-97.

[18] Munns R. Comparative physiology of salt and water stress[J]. Plant Cell and Environment, 2002, 25(2): 239-250.

[19] Misra A N, Srivastava A, Strasserr J, et al. Utilization of fast chlorophyll a fluorescence technique in assessing the salt sensitivity of

mung bean and Brassica seedlings[J]. Journal of Plant Physiology, 2001, 158(9): 1173-1181.

[20] Li L, van Staden J. Effects of plant growth regulators on the antioxidant system in callus of two maize cultivars subjected to water stress[J]. Plant Growth Regulation, 1998, 24(1): 55-56.

[21] 张守仁. 叶绿素荧光动力学参数的意义及讨论[J]. 植物学通报, 1999, 16(4): 444-448.

1 材料与方法

1.1 材料的培养

供试材料一串红 (*Salvia splendens* Ker - Gawl.)、万寿菊 (*Tagetes erecta* L.)、孔雀草 (*Tagetes. patula* L.)、矮牵牛 (*Petunia hybrida* Vilmorin)、百日草 (*Zinnia elegans* Jacp.)、千日红 (*Gomphrena globosa* L.)、细叶美女樱 (*Verbena tenera* Spreng.) 于 2015 年 4—5 月在东北农业大学园艺实验中心播种育苗,幼苗长出 4~5 片真叶时进行分苗,待幼苗长至现蕾期时,选取长势一致的花苗,用清水将其根部泥土冲洗干净,定植于直径为 15 cm 的圆形塑料花盆中,栽培基质为纯净河沙,用 1/2 Hoagland 营养液浇灌培养,充分缓苗后进行胁迫处理。

1.2 材料的处理

分别对一串红、万寿菊、矮牵牛、孔雀草、百日草、细叶美女樱、千日红 7 种花卉进行胁迫处理,NaCl 浓度设 0 (CK)、50、100、150、200 mmol/L 共 5 个梯度,每种花卉设 5 个处理,每盆为 1 个处理,每个处理 3 个重复,共 15 盆,7 种花卉共 105 盆。将 NaCl 按设计浓度加入到 Hoagland 营养液中进行浇灌处理。为防止盐渍效应,各处理均以 Hoagland + 50 mmol/L NaCl 为起始浓度,每天递增 50 mmol/L NaCl 浓度^[9],达到预设浓度后,按各处理浓度连续处理 7 d,在处理结束后的第 2 天 (9:00—10:00) 进行叶片取样,测定相关指标。

1.3 测定指标与方法

叶片相对含水量的测定参考高俊凤的烘干称质量法^[10];叶绿素含量的测定采用高俊凤的丙酮酸乙醇 1:1 混合

法^[10];电解质外渗率的测定采用相对电导率法,用 METTLER TOLEDO 326 电导率仪测定;丙二醛含量的测定采用硫代巴比妥酸法^[10];脯氨酸含量的测定采用酸性茚三酮法^[11];可溶性糖含量的测定采用蒽酮法^[11];可溶性蛋白含量的测定采用考马斯亮蓝法^[10]。以上每个指标重复测定 3 次,取平均值。

1.4 数据处理

采用 Microsoft Excel 2010 进行数据处理和绘图,SPSS 19.0 进行差异显著性分析。评价 7 种一、二年生花卉抗盐性采用模糊数学隶属函数值法,以相对含水量、叶绿素含量、电解质外渗率、丙二醛含量、脯氨酸含量、可溶性糖含量、可溶性蛋白含量 7 个生理指标进行综合评价。具体计算公式如下: (1) 如果指标与耐盐性呈正相关 $X(i) = (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$; (2) 如果指标与耐盐性呈负相关 $X(i) = 1 - (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$ 。其中, $X(i)$ 表示各个指标的平均值; X_{\min} 表示对应指标的最小值; X_{\max} 表示对应指标的最大值。将 7 种花卉各指标的耐盐性隶属函数值累加起来,求其平均值,数值越大,耐盐性越强;反之,耐盐性则较弱^[12]。

2 结果与分析

2.1 不同浓度 NaCl 胁迫对 7 种花卉叶片相对含水量的影响

由表 1 可知,7 种花卉叶片相对含水量随 NaCl 浓度的增加呈先降低后升高的趋势。其中矮牵牛、千日红分别在 50、150 mmol/L 时达到最低值,其余 5 种花卉均在 100 mmol/L 时达到最低值。并且除千日红和万寿菊外,矮牵牛、百日草、一串红、孔雀草、细叶美女樱 5 种花卉在 NaCl 浓度达到 200 mmol/L 时相对含水率均比对照组有不同程度的升高,且与其他处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

表 1 不同浓度 NaCl 胁迫对 7 种花卉叶片相对含水量的影响

NaCl 浓度 (mmol/L)	相对含水量 (%)						
	矮牵牛	百日草	一串红	孔雀草	千日红	万寿菊	细叶美女樱
0	66.57 ± 0.75bc	72.05 ± 0.62b	79.81 ± 0.21ab	87.26 ± 3.05a	91.43 ± 1.05a	86.09 ± 0.60a	70.15 ± 2.15b
50	59.76 ± 2.11c	75.29 ± 1.53b	74.24 ± 0.97b	81.69 ± 1.26b	90.87 ± 1.14a	79.55 ± 1.62b	63.55 ± 3.84b
100	60.39 ± 5.89c	59.65 ± 2.44c	72.81 ± 0.75b	71.97 ± 1.82c	84.32 ± 0.75b	74.00 ± 1.91c	63.96 ± 2.75b
150	70.52 ± 7.21b	69.82 ± 2.76b	75.67 ± 0.97b	78.97 ± 0.82b	78.91 ± 0.02c	78.18 ± 2.28bc	65.35 ± 3.24b
200	82.65 ± 1.83a	91.84 ± 2.37a	87.17 ± 1.78a	88.89 ± 0.06a	80.39 ± 1.33c	78.43 ± 0.40bc	91.45 ± 3.09a

注: 同列不同小写字母表示同一花卉种类下不同处理间差异显著 ($P < 0.05$)。下表同。

2.2 不同浓度 NaCl 胁迫对 7 种花卉叶片叶绿素含量的影响

由表 2 可知,随着 NaCl 浓度的增加,矮牵牛、百日草、一串红的叶片叶绿素含量呈逐渐下降趋势,孔雀草、万寿菊、细叶美女樱呈先升高 (NaCl 浓度 ≤ 50 mmol/L) 后降低的趋势,而千日红叶片叶绿素含量呈上升趋势,但各处理间差异不显著 ($P < 0.05$)。在 NaCl 浓度为 200 mmol/L 时,一串红的叶

片叶绿素含量变化幅度最大,比对照组降低 85.21%;矮牵牛、百日草、孔雀草、细叶美女樱的变化幅度较小,分别比对照降低 68.39%、47.50%、27.70%、57.21%;万寿菊的变化幅度最小,为 14.29%;而千日红的叶片叶绿素含量比对照组增加 30.72%。

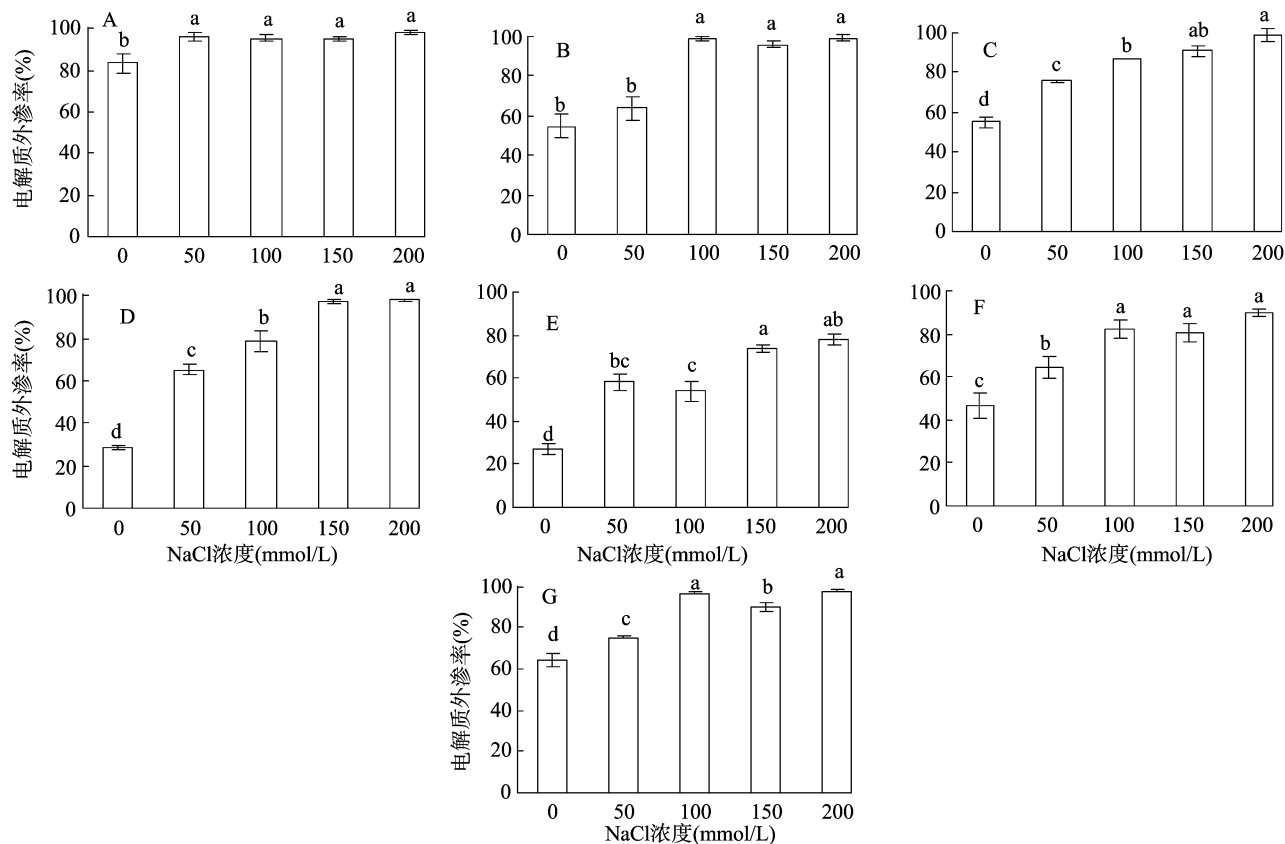
表 2 不同浓度 NaCl 胁迫对 7 种花卉叶片叶绿素含量的影响

NaCl 浓度 (mmol/L)	叶绿素含量 (mg/g)						
	矮牵牛	百日草	一串红	孔雀草	千日红	万寿菊	细叶美女樱
0	1.55 ± 0.16a	2.01 ± 0.06a	1.69 ± 0.05a	1.48 ± 0.14b	1.15 ± 0.12b	2.17 ± 0.01ab	2.29 ± 0.27a
50	1.18 ± 0.02b	1.96 ± 0.16ab	1.33 ± 0.10b	2.56 ± 0.15a	1.45 ± 0.07a	2.38 ± 0.05a	2.31 ± 0.16a
100	1.06 ± 0.06bc	1.61 ± 0.16b	1.12 ± 0.06b	2.29 ± 0.15a	1.61 ± 0.01a	1.90 ± 0.01b	1.58 ± 0.03b
150	0.85 ± 0.10c	1.19 ± 0.12c	0.56 ± 0.02c	1.34 ± 0.07bc	1.50 ± 0.08a	1.91 ± 0.01b	1.58 ± 0.21b
200	0.49 ± 0.10d	1.05 ± 0.06c	0.25 ± 0.04d	1.07 ± 0.06d	1.66 ± 0.07a	1.86 ± 0.24b	0.98 ± 0.18b

2.3 不同浓度 NaCl 胁迫对 7 种花卉细胞膜透性的影响

2.3.1 不同浓度 NaCl 胁迫对 7 种花卉叶片电解质外渗率的影响 由图 1 可知,随着 NaCl 浓度的增加,7 种花卉叶片电解质外渗率均呈上升趋势。其中孔雀草和千日红电解质外渗率在 NaCl 浓度为 200 mmol/L 时相较对照组增加幅度最大,

分别为 70.96%、65.29%,且差异显著($P < 0.05$);百日草、一串红、万寿菊、细叶美女樱增加幅度较小且在 NaCl 浓度 ≥ 100 mmol/L 时增加幅度趋于平缓,分别比对照增加了 44.90%、44.41%、48.43%、34.41%;矮牵牛的增加幅度最小,为 15.36%。



A—矮牵牛; B—百日草; C—一串红; D—孔雀草; E—千日红; F—万寿菊; G—细叶美女樱, 不同小写字母表示同一花卉种类下不同处理间差异显著($P < 0.05$), 下图同

图1 不同浓度 NaCl 胁迫对7种花卉叶片电解质外渗率的影响

2.3.2 不同浓度 NaCl 胁迫对 7 种花卉叶片丙二醛含量的影响 由图 2 可知,在不同浓度 NaCl 胁迫下,7 种花卉叶片 MDA 变化趋势分为 3 种,其中百日草叶片 MDA 含量呈先升高后降低趋势,在 NaCl 浓度 ≥ 50 mmol/L 时 MDA 含量均高于对照组,但差异不显著;万寿菊和细叶美女樱叶片 MDA 含量呈先降低后升高趋势,但万寿菊各处理组间 MDA 含量差异不显著,当 NaCl 浓度达到 200 mmol/L 时与对照组相比仅提高 2.78%,细叶美女樱在此浓度时比对照组提高 39.12%;矮牵牛、一串红、孔雀草和千日红叶片 MDA 含量随着 NaCl 浓度的升高,呈逐渐上升趋势,当 NaCl 浓度达到 200 mmol/L 时与对照组相比分别提高 86.40%、78.30%、43.52%、74.77%,且差异显著($P < 0.05$)。

2.4 不同浓度 NaCl 胁迫对 7 种花卉渗透调节物质含量的影响

2.4.1 不同浓度 NaCl 胁迫对 7 种花卉叶片脯氨酸含量的影响 由图 3 可知,随着 NaCl 浓度的增加,除千日红外,矮牵牛、百日草、一串红、孔雀草、万寿菊、细叶美女樱 6 种花卉脯氨酸含量显著增加,其中矮牵牛、百日草、一串红、孔雀草、万寿菊的脯氨酸含量在 NaCl 浓度为 200 mmol/L 时分别比对照

组增加 85.96%、93.95%、94.27%、97.15%、94.69%,说明脯氨酸含量的显著增加对提高其耐盐性起到重要作用;细叶美女樱呈现先增高后降低趋势,但其变化幅度较小,在 NaCl 浓度为 100 mmol/L 时达到最大值,比对照组增加 48.97%。

2.4.2 不同浓度 NaCl 胁迫对 7 种花卉叶片可溶性糖含量的影响 由图 4 可知,随着 NaCl 浓度的增大,7 种花卉叶片可溶性糖含量均呈先上升后下降趋势,其中矮牵牛、百日草、千日红和细叶美女樱在 NaCl 浓度为 50 mmol/L 时达到最大值,一串红和孔雀草在 NaCl 浓度为 100 mmol/L 时达到最大值,而万寿菊则在 NaCl 浓度为 150 mmol/L 时达到最大值。矮牵牛、千日红、细叶美女樱总体呈下降趋势,在 NaCl 浓度为 200 mmol/L 时分别比对照组降低 73.70%、32.01%、32.18%,而百日草、一串红、孔雀草、万寿菊虽然出现上升后下降的趋势,但在 NaCl 浓度达到 200 mmol/L 时叶片可溶性糖含量仍高于对照组,分别比对照组增加 40.44%、36.17%、90.23%、32.18%。从变化的百分比来看,孔雀草的变化幅度最大且均与对照组有显著差异($P < 0.05$)。

2.4.3 不同浓度 NaCl 胁迫对 7 种花卉叶片可溶性蛋白含量的影响 由图 5 可知,随着 NaCl 浓度的升高,7 种花卉叶片

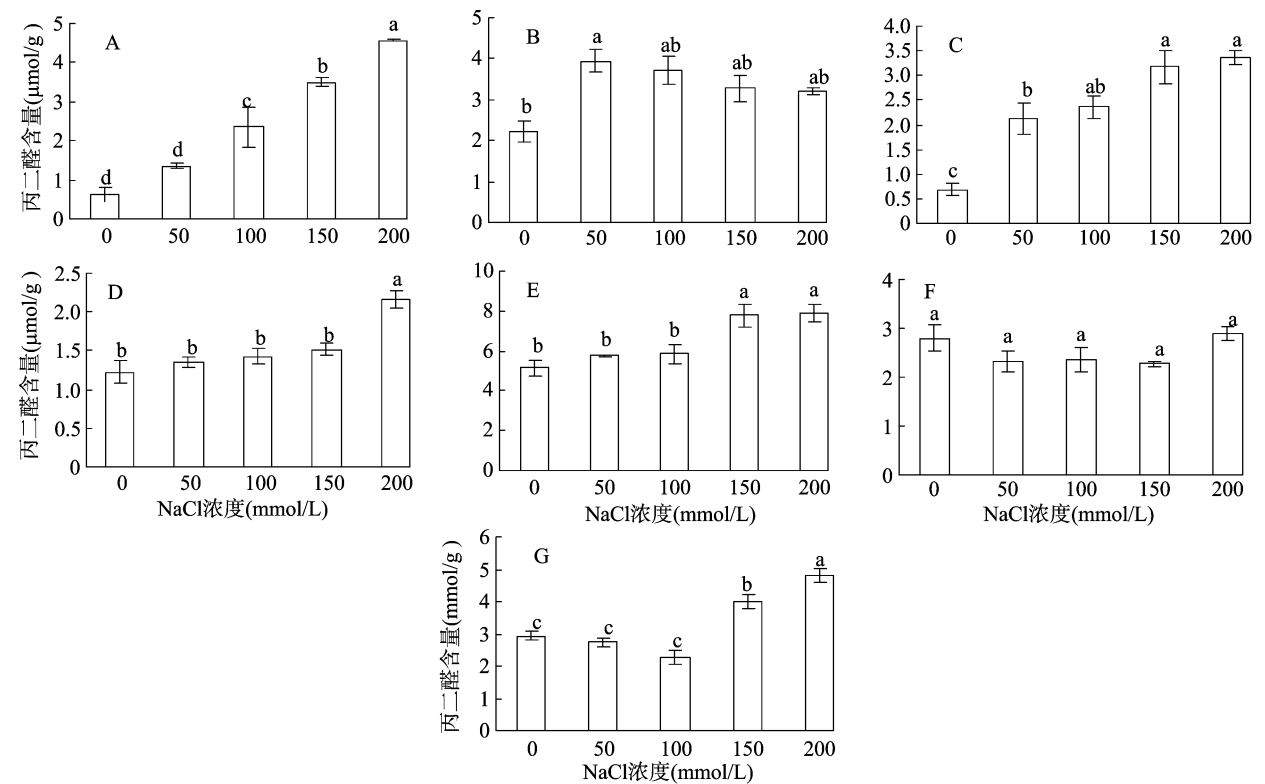


图2 不同 NaCl 胁迫对7种花卉叶片丙二醛含量的影响

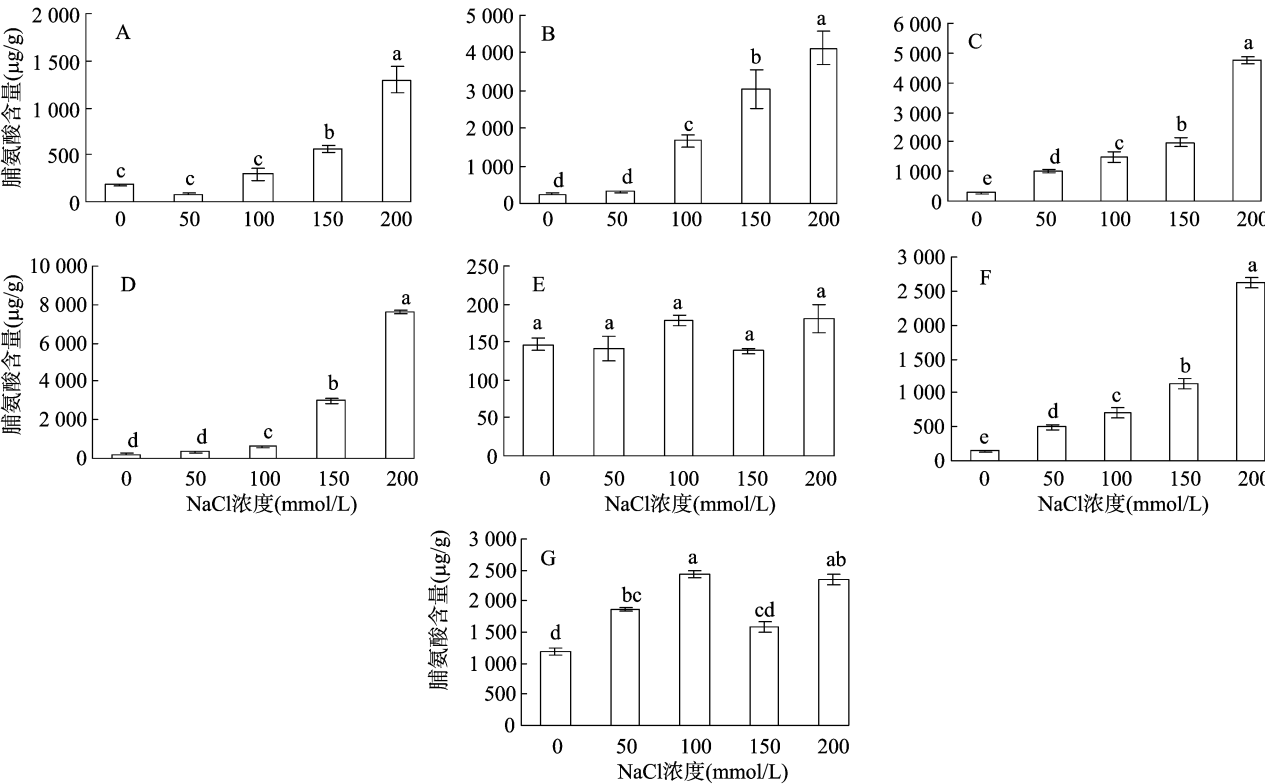


图3 不同 NaCl 胁迫对7种花卉叶片脯氨酸含量的影响

中可溶性蛋白含量的变化规律存在差异,其中千日红和万寿菊的变化规律不明显;矮牵牛、百日草、一串红、孔雀草和细叶美女樱为先降低后升高再降低。当 NaCl 浓度达到

200 mmol/L 时与对照组相比均为降低趋势,矮牵牛、百日草降低幅度较大,分别比对照组降低 52.03%、39.48%,一串红、孔雀草、细叶美女樱降低幅度较小,分别为12.57%、

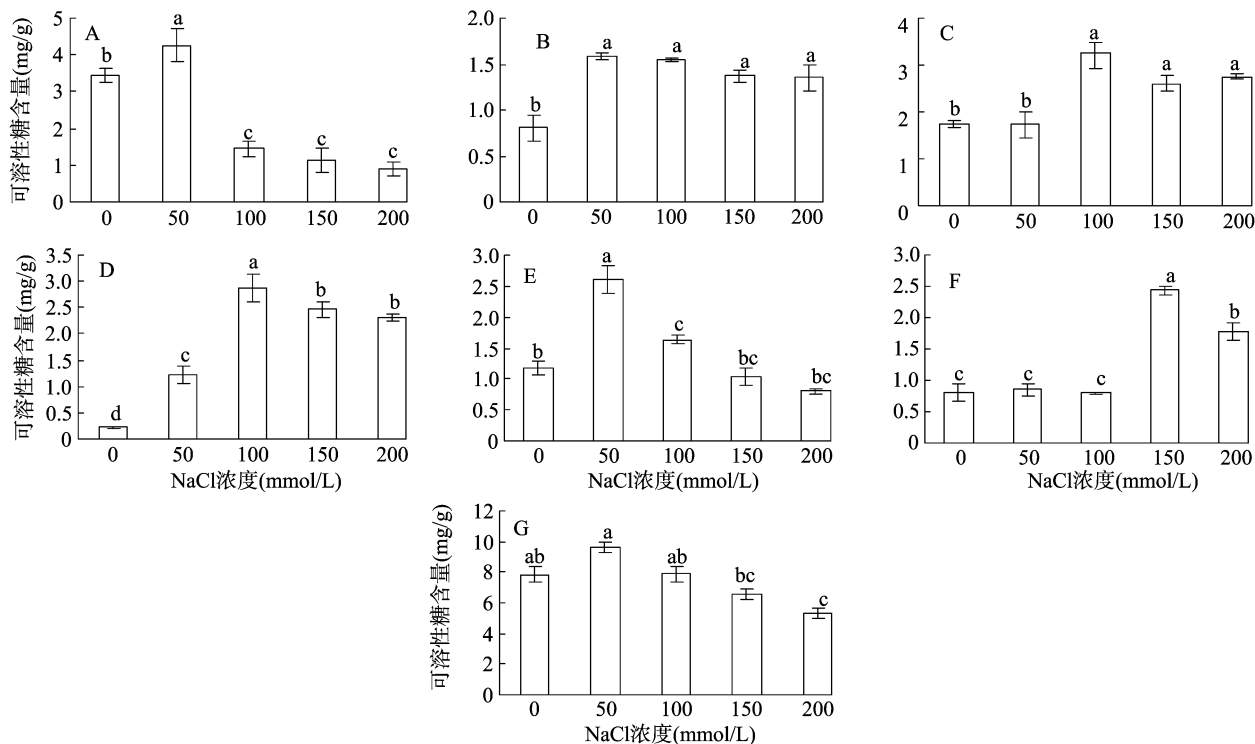


图4 不同 NaCl 胁迫对7种花卉叶片可溶性糖含量的影响

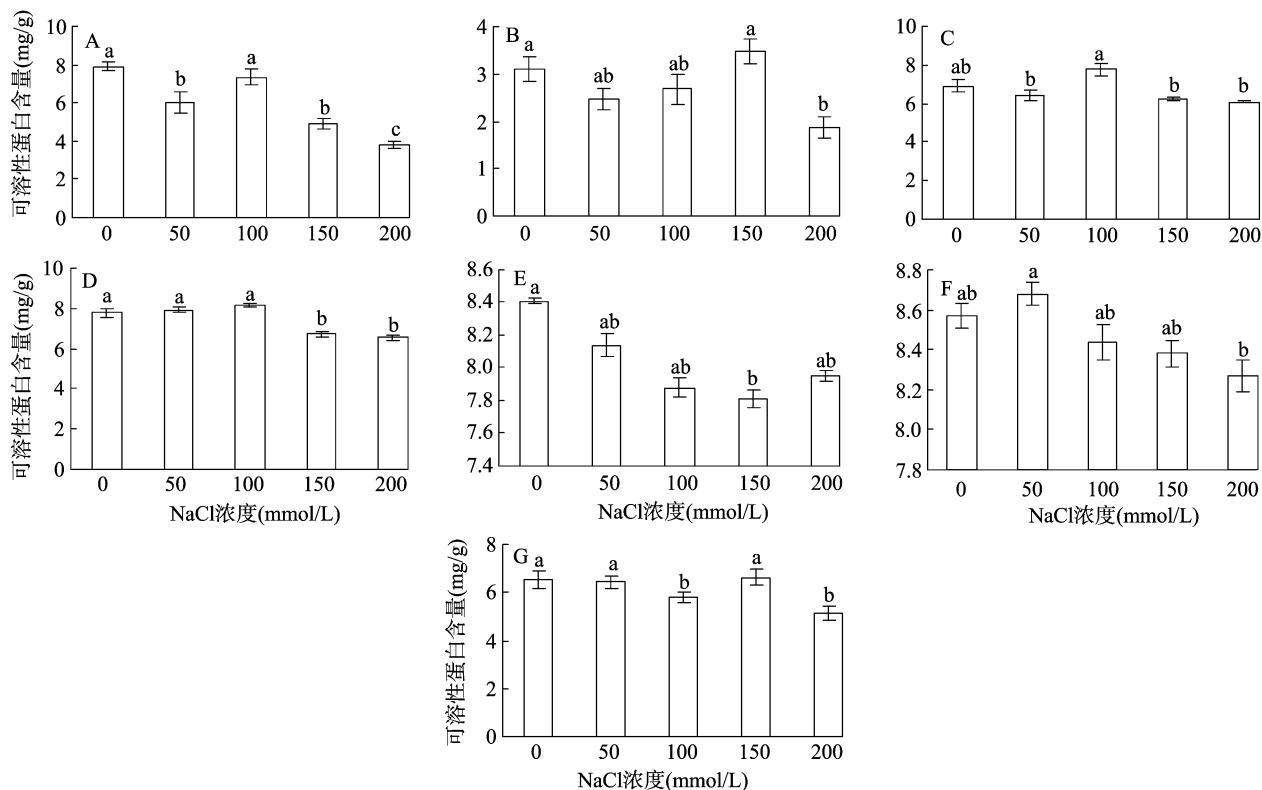


图5 NaCl 胁迫下7种花卉叶片可溶性蛋白含量的影响

15.70%、21.47%，千日红和万寿菊的降低幅度最小，分别为5.47%、3.50%。

2.5 NaCl 浓度与各生理指标的相关性分析

为了解盐胁迫对一、二年生花卉的危害程度及与各生理

指标的关系，进行相关性分析，结果见表3。在盐胁迫下，NaCl 浓度与7种一、二年生花卉叶绿素含量、电解质外渗率、丙二醛含量、脯氨酸含量和可溶性糖含量相关性较高，而与相对含水量和可溶性蛋白含量之间的相关性较低，说明NaCl浓

表 3 NaCl 浓度和生理指标的相关系数

指标	相关系数						
	矮牵牛	百日草	一串红	孔雀草	千日红	万寿菊	细叶美女樱
相对含水量	0.663 **	0.444	0.345	0.012	-0.897 **	-0.527 *	0.551 *
叶绿素含量	-0.915 **	-0.892 **	-0.959 **	-0.481	0.711 **	-0.595 *	-0.836 **
电解质外渗率	0.665 **	0.859 **	0.920 **	0.928 **	0.801 **	0.866 **	0.873 **
丙二醛含量	-0.968 **	0.339	-0.839 **	0.802 **	-0.639 *	0.046	0.877 **
脯氨酸含量	0.854 **	0.935 **	0.910 **	0.875 **	0.359	0.914 **	0.557 *
可溶性糖含量	-0.830 **	0.624 *	0.692 **	0.792 **	-0.453	0.729 **	-0.660 **
可溶性蛋白含量	-0.822 **	-0.285	0.014	-0.665 **	-0.562 *	-0.629 *	-0.466

注：“**”“*”分别表示差异极显著($P<0.01$)、差异显著($P<0.05$)。

表 4 7 种花卉耐盐特性综合评价(模糊数学隶属函数值法)

指标	隶属函数值						
	矮牵牛	百日草	一串红	孔雀草	千日红	万寿菊	细叶美女樱
相对含水量	0.641	0.563	0.643	0.422	0.499	0.566	0.737
叶绿素含量	0.494	0.461	0.486	0.545	0.635	0.646	0.423
电解质外渗率	0.688	0.623	0.602	0.648	0.609	0.609	0.612
丙二醛含量	0.529	0.660	0.381	0.336	0.511	0.300	0.422
脯氨酸含量	0.331	0.420	0.362	0.289	0.403	0.355	0.688
可溶性糖含量	0.603	0.679	0.452	0.603	0.641	0.328	0.504
可溶性蛋白含量	0.463	0.471	0.635	0.453	0.620	0.517	0.348
总分	0.536	0.554	0.509	0.471	0.560	0.474	0.533
耐盐性排序	3	2	5	7	1	6	4

度对这 7 种一、二年生花卉的生理指标的变化有重要影响。

2.6 7 种一、二年生花卉综合耐盐性综合评价

利用模糊数学隶属函数值法对 7 种一、二年生花卉进行耐盐性综合评价(表 4),发现千日红耐盐性在这 7 种花卉中最强,矮牵牛和细叶美女樱、孔雀草和万寿菊耐盐性差别较小,平均隶属函数值大小进行排序为千日红>百日草>矮牵牛>细叶美女樱>一串红>万寿菊>孔雀草。

3 结论与讨论

大量研究表明,生长在盐胁迫环境下的植物,由于土壤中渗透压失去平衡,导致植物根系吸取水分困难,从而使植物叶片相对含水量降低。本试验除千日红外,其余 6 种花卉叶片相对含水量随着盐浓度的升高呈先降低后升高(≥ 150 mmol/L)的趋势。这与郭金耀在矮牵牛的耐盐生理特性中的研究结果^[13]一致,盐浓度达到 200 mmol/L 时,这 6 种花卉叶片已经受到伤害,叶片吸水能力下降,导致叶片饱和含水量下降,进而使得相对含水量增加。

盐胁迫下,植物叶片中光合色素的平衡失调会对光合作用造成影响^[14]。NaCl 或 Cl⁻能够使叶绿素酶的活性提高,加快叶绿素的分解,抑制植物光合作用,从而影响植物生长发育^[15]。研究表明,孔雀草、万寿菊、细叶美女樱在 NaCl 浓度为 50 mmol/L 时叶片叶绿素含量与对照相比有略微增加,说明在低盐浓度(≤ 50 mmol/L)下,对这 3 种花卉的光合色素的含量影响不大,但高浓度的胁迫对叶绿体结构和功能造成损害^[16];千日红则表现为随着盐浓度增加呈上升趋势,与薛秀栋研究中的日本结缕草在盐胁迫下叶绿素含量变化趋势^[17]一致,说明在这 7 种花卉中,就叶绿素含量单一指标而言,千日红具有较高的耐盐性;而矮牵牛、百日草、一串红的叶

绿素含量都逐渐降低,且各处理组间差异显著($P<0.05$),说明在盐环境中它们的适应调节能力较弱,导致叶绿体受损坏,影响光合色素的合成。

植物在盐胁迫下所受的伤害在细胞水平上以细胞质膜透性变化为主要特征。耐盐性强的植物膜系统不易被破坏,细胞膜透性小,反之,细胞膜透性大^[18]。研究结果表明,随着 NaCl 浓度的增大,7 种花卉叶片细胞质膜均遭到不同程度的破坏,导致电解质大量外渗,细胞质膜透性增加。该结果与汤巧香等对大花萱草^[19]和甄伟玲等对福禄考、四季菊和荷兰菊^[16]的研究结果一致。

丙二醛是(MDA)是膜脂过氧化作用的主要产物之一,其含量是判断膜脂过氧化程度的一个重要指标^[20]。研究结果表明,7 种花卉叶片的丙二醛含量均高于对照,说明在盐胁迫下,这些花卉细胞膜受害严重,电解质大量外渗,增加丙二醛的积累,其中,细叶美女樱丙二醛含量呈先降低后升高趋势,说明在低盐胁迫下对细叶美女樱叶片膜质过氧化程度较小,而高盐胁迫下则造成丙二醛大量积累。

植物通过积累一些小分子有机化合物,如脯氨酸、可溶性糖、可溶性蛋白等渗透调节物质,使细胞水势降低,能够从周围环境中吸取水分,从而保持体内细胞与组织的水平衡,抵抗环境胁迫^[21]。国外一些研究认为脯氨酸的积累是植物在盐胁迫下采取的保护自身的一种措施^[22-23]。本试验结果表明,除千日红各处理间脯氨酸含量差异不显著外,其余 6 种花卉均随盐浓度升高逐渐上升,说明在 NaCl 浓度 ≤ 200 mmol/L 时对千日红的脯氨酸含量没有较大的影响,植物体在盐环境中的适应性和抵抗性较强或者是由于试验处理的时间稍短,而其他 6 种花卉需要产生大量的脯氨酸来进行体内的渗透调节,增强自身的耐盐能力;可溶性糖是植物体内的渗透调节

剂,同时也是合成其他有机溶质和碳架的能量来源^[24],在盐胁迫下,矮牵牛、千日红、孔雀草和细叶美女樱叶片中的可溶性糖含量的变化趋势为先高后低,说明在低盐胁迫下,植物体受到外界的环境刺激迅速积累可溶性糖含量调节细胞渗透势,而当盐浓度过高时植物体生命活动受到破坏,影响了可溶性糖的合成;可溶性蛋白可以保持细胞内渗透势维持较低的水平,防止植物组织内水分向外流失。研究发现 7 种花卉在盐浓度达到 200 mmol/L 时可溶性蛋白含量均低于对照,虽中间略有起伏但整体呈下降趋势,与韩超等对梭梭幼苗的研究结果^[25]一致,说明高浓度的盐胁迫可能会影响可溶性蛋白的合成或转变成氨基酸等物质来降低细胞内渗透势并维持平衡。

盐胁迫对植物造成的伤害是多方面的,不同植物对胁迫产生的抗性机制也有所差别,而且对盐胁迫的响应还受生育期、环境等因素的影响。盐胁迫下,植物所表现出的耐盐性是一个复杂的过程,是由多种代谢途径及物质综合呈现出来的。仅用单项指标评价不同植物材料间的耐盐性会存在一定的局限性,运用综合评价方法能更准确有效地反映出不同植物材料间的耐盐性^[26]。本试验就相对含水量、电解质外渗率、叶绿素含量、丙二醛含量、脯氨酸含量、可溶性糖含量、可溶性蛋白含量等 7 个生理指标综合分析,抗盐能力排序为千日红 > 百日草 > 矮牵牛 > 细叶美女樱 > 一串红 > 万寿菊 > 孔雀草,要进一步比较这 7 种花卉对盐胁迫的响应机制还有待继续深入研究。

参考文献:

- [1] 李 敏,张 健,李玉娟,等. 植物耐盐生理及耐盐基因的研究进展[J]. 江苏农业科学,2012,40(10):45-49.
- [2] 杨 升,张华新,刘 涛. 盐胁迫对 16 种幼苗渗透调节物质的影响[J]. 林业科学研究,2012,25(3):269-277.
- [3] 程金水. 园林植物遗传育种学[M]. 北京:中国林业出版社,2004.
- [4] 秦峰梅,张红香,武 玮,等. 盐胁迫对黄花苜蓿发芽及幼苗生长的影响[J]. 草业学报,2010,19(4):71-78.
- [5] 李艺华,罗 丽. 植物盐胁迫及其抗性生理研究进展[J]. 福建热作科技,2006,31(3):46-48.
- [6] 王康军,王 龙,顾正中,等. 盐胁迫对小麦种子萌发与幼苗生长的影响及外源物质调控效应[J]. 江苏农业科学,2016,44(1):111-115.
- [7] Al - khatib M, Mcneilly T, Collins J C. The potential of selection and breeding for improved salt tolerance in lucerne (*Medicago sativa* L.) [J]. Euphytica,1992,65(1):43-51.
- [8] Koster K L. Glass formation and desiccation tolerance in seeds[J]. Plant Physiology,1991,96(1):302-304.
- [9] 张宪政. 植物生理学实验技术[M]. 沈阳:辽宁科学技术出版社,1994.
- [10] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京:高等教育出版社,2006.
- [11] 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,2003.
- [12] Ingram J, Bartels D. The molecular basis of dehydration tolerance in plants[J]. Annual Review on Plant Physiology & Plant Molecular Biology,2003,47(47):377-403.
- [13] 郭金耀,杨晓玲. 矮牵牛耐盐生理特性研究[J]. 北方园艺,2011(4):88-90.
- [14] 周爱清,罗 顺. 种子活力[M]. 北京:农业出版社,1990.
- [15] Rao G G, Rao G R. Pigment composition and chlorophyllase activity in pigeon pea (*Cajanus indicus* Spreng) and Gingelly (*Sesamum indicum* L.) under NaCl salinity[J]. Indian Journal of Experimental Biology,1981(19):768-770.
- [16] 甄伟玲,王 文,孔东升,等. 4 种宿根草本花卉的耐盐性[J]. 东北林业大学学报,2009,37(11):61-63.
- [17] 薛秀栋,董晓颖,段艳欣,等. 不同盐浓度下 3 种结缕草的耐盐性比较研究[J]. 草业学报,2013,22(6):315-320.
- [18] 王建华,刘鸿先,徐 同. 超氧化物歧化酶(SOD)在植物逆境和衰老生理中的作用[J]. 植物生理学通讯,1989(1):1-7.
- [19] 汤巧香,赵芸鸽,王建团. 3 种宿根花卉耐盐性指标的研究[J]. 山东林业科技,2011(2):29-30.
- [20] 袁晓婷,刘 威,宣亚楠,等. 盐胁迫下唐古特白刺对外源 Ca^{2+} 的生理响应[J]. 植物生理学报,2014,50(1):88-94.
- [21] 钟云鹏,梁丽建,何丽斯,等. 盐胁迫对 2 种石蒜属植物叶片生理特性的影响[J]. 江苏农业科学,2011,39(2):252-255.
- [22] Sanada Y, Ueda H, Kuribayashi K, et al. Novel light - dark change of proline levels in halophyte (*Mesembrianthemum crystallinum* L.) and glycophytes (*Hordeum vulgare* L. and *Triticum aestivum* L.) leaves and roots under salt stress[J]. Plant and Cell Physiology,1995,36(6):965-970.
- [23] Santa - Cruz A, Acosta M, Rus A, et al. Short - term salt tolerance mechanisms in differentially salt tolerant tomato species[J]. Plant Physiology and Biochemistry,1999,37(1):65-71.
- [24] 闫永庆,朱 虹,刘兴亮,等. 盐胁迫对紫穗槐生长发育及生理特性的影响[J]. 东北农业大学学报,2008,39(12):31-35.
- [25] 韩 超,谢文华,李建贵. 盐胁迫对梭梭幼苗渗透调节物质含量的影响[J]. 新疆农业大学学报,2014,37(3):209-213.
- [26] 李 源,刘贵波,高洪文,等. 紫花苜蓿种质耐盐性综合评价及盐胁迫下的生理反应[J]. 草业学报,2010,19(4):79-86.