

盐胁迫对玫瑰生长和生理特性的影响*

杨志莹¹ 赵兰勇^{1**} 徐宗大¹

(山东农业大学林学院, 山东泰安 271018)

摘要 以野生玫瑰和3个玫瑰栽培品种一年生扦插苗为试材,对不同浓度NaCl胁迫下玫瑰的生物量、光合作用、渗透调节物质含量、根活力和离子含量进行了研究.结果表明:盐胁迫抑制了玫瑰的生长,与地上部相比,根系对盐胁迫更加敏感;盐胁迫下,野生玫瑰的游离脯氨酸和可溶性糖含量显著高于栽培玫瑰;品种‘紫雁’高于‘紫枝’和‘中科二号’;盐胁迫对野生玫瑰光合性能和根活力的影响明显小于栽培玫瑰.野生玫瑰的耐盐性优于栽培玫瑰;而栽培玫瑰中‘紫雁’优于‘紫枝’和‘中科二号’.上述生理指标可作为玫瑰耐盐性评价的参考指标.

关键词 盐胁迫 玫瑰 生理特性

文章编号 1001-9332(2011)08-1993-06 中图分类号 S685.12 文献标识码 A

Impacts of salt stress on the growth and physiological characteristics of *Rosa rugosa*. YANG Zhi-ying¹, ZHAO Lan-yong¹, XU Zong-da¹ (*College of Forestry, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, Shandong, China*). -*Chin. J. Appl. Ecol.*, 2011, 22(8): 1993-1998.

Abstract: Taking 1-year old cuttings of a wild type and three cultivars of *Rosa rugosa* as test materials, this paper studied their biomass, photosynthesis, osmotic adjustment substance contents, root activity, and ion contents under the stress of different concentration NaCl. Salt stress inhibited the growth of the cuttings, and root was more sensitive than shoot. Under salt stress, wild rose had significantly higher contents of free proline and soluble sugar than the cultivars, and the contents of free proline and soluble sugar in cultivar ‘Ziyan’ were higher than those in cultivars ‘Zhongke 2’ and ‘Purple Branch’. Compared with rose cultivars, the wild rose under salt stress had smaller changes in its photosynthetic characteristics and root activity. It was suggested that wild rose had a higher resistance to salt stress than the cultivars, and cultivar ‘Ziyan’ had a higher resistance than ‘Purple Branch’ and ‘Zhongke 2’. All the test indices could be used as the indicators of *R. rugosa* salt-tolerance.

Key words: salt stress; *Rosa rugosa*; physiological characteristics.

土壤盐碱化是影响农业生产和破坏生态环境的重要因素之一.据估计,全球的盐碱地正以每年 $1 \times 10^6 \sim 1.5 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 的速度增加^[1].开发和利用盐碱地成为当前急需解决的一大问题.选育和推广耐盐植物是改良和利用盐碱地的有效措施,因此,研究植物的耐盐性及其机理具有重要的意义.

玫瑰(*Rosa rugosa*)属蔷薇科蔷薇属落叶灌木,原产于中国北部、朝鲜、日本及俄罗斯的远东地区.在我国,玫瑰天然分布于渤海湾沿海的沙地、山坡及图们江下游沿江漫滩沙丘地上,但其能否在盐碱地

上生长还是未知.目前,国内外对玫瑰的研究主要集中在野生玫瑰种质资源的调查、栽培品种分类、精油的化学成分以及自交亲和性等方面^[2-6],在抗盐碱研究方面尚未见报道.本文以野生玫瑰和3个玫瑰品种为试材,研究盐胁迫下玫瑰的生理特性及其耐盐性,以为玫瑰抗盐品种的选育及推广应用提供理论参考.

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验在山东农业大学花卉研究所玫瑰种质资源苗圃进行.以野生玫瑰和3个玫瑰栽培品种‘紫雁’、‘紫枝’、‘中科二号’为试材,选取生长相对一

* 山东省良种产业化项目[鲁科字(2002)228号]资助.

** 通讯作者. E-mail: sdzly369@163.com

2011-01-24 收稿, 2011-05-02 接受.

致的一年生扦插苗,栽种于上口径为 25 cm 的泥盆中,基质为腐殖土和园土 1:2 的混合基质,正常栽培管理,于 2009 年 8 月开始进行盐胁迫试验。

1.2 试验处理

试验采用完全随机区组试验设计,共设 4 个 NaCl 浓度处理:0 (CK)、0.2%、0.4%、0.6%,每个处理重复 3 次。试验开始后,用相应浓度 NaCl 溶液浇灌盆土,每隔 7 d 浇灌一次,每次每盆浇 2 L,盆下垫塑料托盘,防止盐分流失。4 周后测定各项指标。

1.3 测定项目及方法

游离脯氨酸含量采用磺基水杨酸法测定^[7];可溶性糖含量采用蒽酮-硫酸法测定^[8];根活力采用 TTC 还原法测定^[8]。

生物量测定:试验结束时,取整株鲜样,分别测定地上部和地下部的鲜质量,然后放入烘箱 105 °C 杀青 15 min,70 °C 烘干至恒量,分别测定二者的干质量,并计算总生物量和根冠比。

离子测定:将烘干的叶片磨碎,用硫酸-高氯酸消煮法消煮,用火焰光度计测定 K⁺、Na⁺ 含量^[9]。

光合作用测定:采用 CIRAS-2 型便携式光合测定系统(英国 PP_Systems 公司),设定光量子通量密度为 800 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,温度 25 °C,CO₂ 浓度 390 $\mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$,于 10:00—11:00 测定净光合速率 (P_n)、气孔导度 (G_s)、胞间 CO₂ 浓度 (C_i) 和蒸腾速率 (T_r),每个处理测定 3 株,每株选 3~4 个叶片为待测叶,测定时随机选取其中 1 片叶进行测定。

1.4 数据处理

采用 Excel 软件进行数据处理和作图,采用 DPS 软件进行单因素方差分析和相关性分析,并用 Duncan 的新复极差法对差异显著性进行多重比较 ($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 NaCl 胁迫下玫瑰叶片中可溶性渗透调节物含量的变化

由表 1 可以看出,盐胁迫下,所有参试材料的脯氨酸和可溶性糖含量均呈上升趋势,且不同处理之间差异显著。在盐浓度为 0.6% 时,野生玫瑰、‘紫雁’、‘紫枝’和‘中科二号’的脯氨酸含量分别比对照增加 87.3%、74.0%、43.1% 和 15.5%;可溶性糖含量分别比对照增加 79.9%、75.7%、69.2% 和 73.5%。

2.2 NaCl 胁迫下玫瑰叶片中 Na⁺、K⁺ 含量及 K⁺/Na⁺ 的变化

由表 2 可以看出,随着盐浓度的增加,玫瑰叶片中 Na⁺ 含量显著升高,而 K⁺ 含量和 K⁺/Na⁺ 显著降低。这可能与 Na⁺ 的大量进入降低了植株对 K⁺ 的选择吸收有关,同时也说明离子平衡被破坏,对植株产生毒害作用。与对照相比,盐浓度为 0.6% 时,野生玫瑰、‘紫雁’、‘紫枝’和‘中科二号’的 Na⁺ 含量分别增加了 29.7%、37.6%、89.3% 和 50.9%;K⁺ 含量分别降低了 29.5%、35.6%、30.9% 和 41.8%;K⁺/Na⁺ 分别降低了 42.2%、53.2%、63.5% 和 61.4%。

2.3 NaCl 胁迫下玫瑰光合作用的变化

由图 1 可以看出,随着盐浓度的增加,4 种参试材料的净光合速率 (P_n)、气孔导度 (G_s) 和蒸腾速率 (T_r) 均呈下降趋势,但胞间 CO₂ 浓度 (C_i) 的变化并不明显。另外,当盐浓度为 0.4% 时,栽培玫瑰的 P_n 、 G_s 和 T_r 均急剧下降,可能是该盐浓度超过了栽培玫瑰的忍耐限度;而盐浓度在 0.6% 时,与对照相比,各项指标均达到最低值,野生玫瑰、‘紫雁’、‘紫枝’和‘中科二号’的 P_n 分别降低了 14.8%、

表 1 NaCl 胁迫对玫瑰叶片中游离脯氨酸和可溶性糖含量的影响

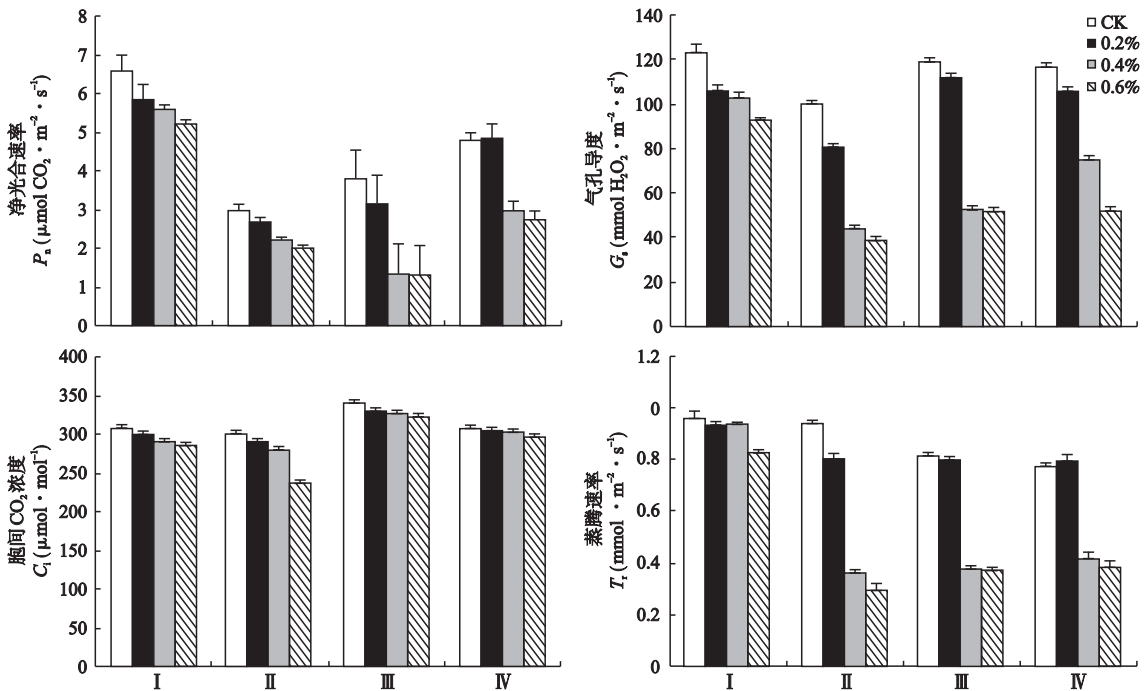
Table 1 Effects of salt stress on the contents of free proline and soluble sugar in rose leaves

指标 Index	盐浓度 NaCl concentration (%)	紫雁 Ziyan	紫枝 Purple Branch	中科二号 Zhongke 2	野生玫瑰 Wild rose
游离脯氨酸含量 Free proline ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}\text{FM}$)	0	67.6±0.6c	79.7±0.4c	52.8±0.5c	67.5±2.1d
	0.2	71.3±2.5c	82.6±0.3c	56.8±0.5b	79.4±1.1c
	0.4	95.9±1.6b	91.6±3.2b	58.0±0.9b	107.3±0.6b
	0.6	117.7±0.1a	115.3±2.0a	61.0±0.4a	126.5±1.5a
可溶性糖含量 Soluble sugar ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}\text{FM}$)	0	17.07±0.19d	14.94±0.18d	16.00±0.02d	17.44±0.03d
	0.2	19.56±0.08c	16.67±0.11c	20.00±0.13c	19.44±0.26c
	0.4	21.74±0.40b	21.71±0.39b	22.09±0.08b	24.28±0.54b
	0.6	30.00±0.12a	25.28±0.14a	27.76±0.52a	31.38±0.34a

同列不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$) Different letters within the same column indicated significant difference at 0.05 level. 下同 The same below.

表 2 NaCl 胁迫对玫瑰叶片中 Na^+ 、 K^+ 浓度及 Na^+/K^+ 的影响Table 2 Effects of salt stress on the contents of Na^+ and K^+ , and K^+/Na^+ in rose leaves

离子 Ion	盐浓度 NaCl concentration (%)	紫雁 Ziyan	紫枝 Purple Branch	中科二号 Zhongke 2	野生玫瑰 Wild rose
Na^+ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	0	0.241±0.002d	0.261±0.003d	0.250±0.002c	0.267±0.002d
	0.2	0.249±0.002c	0.319±0.001c	0.257±0.003bc	0.294±0.003c
	0.4	0.275±0.000b	0.342±0.001b	0.265±0.000b	0.325±0.004b
	0.6	0.331±0.003a	0.494±0.004a	0.378±0.006a	0.346±0.001a
K^+ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	0	1.018±0.000a	1.249±0.000a	1.745±0.005a	0.907±0.015a
	0.2	0.837±0.001b	1.021±0.001b	1.190±0.010b	0.854±0.002b
	0.4	0.725±0.003c	0.960±0.003c	1.041±0.004c	0.807±0.015c
	0.6	0.656±0.006d	0.862±0.005d	1.027±0.009c	0.639±0.000d
K^+/Na^+	0	4.2±0.0a	4.8±0.1a	7.0±0.0a	3.4±0.0a
	0.2	3.4±0.0b	3.2±0.0b	4.6±0.1b	3.0±0.0b
	0.4	2.6±0.0c	2.8±0.0c	3.9±0.0c	2.4±0.0c
	0.6	2.0±0.0d	1.7±0.0d	2.7±0.1d	2.5±0.0c

图 1 NaCl 胁迫对玫瑰叶片净光合速率、气孔导度、胞间 CO_2 浓度和蒸腾速率的影响Fig. 1 Effects of NaCl on P_n , G_s , C_i and T_r in rose leaves.

I: 野生玫瑰 Wild rose; II: 紫枝 Purple Branch; III: 中科二号 Zhongke 2; IV: 紫雁 Ziyan.

43.6%、45.5%、65.5%， G_s 分别降低了 24.4%、55.9%、60.7%、56.9%， T_r 分别降低了 13.9%、50.8%、68.6%、54.5%。以上数据表明，盐胁迫下野生玫瑰光合作用受抑制程度最轻，‘紫雁’次之，‘中科二号’和‘紫枝’最重。

2.4 NaCl 胁迫下玫瑰根活力的变化

由表 3 可以看出，随着盐浓度的增加，野生玫瑰和栽培玫瑰的根活力均呈下降趋势。在盐浓度为 0.6% 时，野生玫瑰、‘紫雁’、‘紫枝’、‘中科二号’分别比对照降低了 29.0%、40.7%、43.9%、64.6%。

由此可见，野生玫瑰受盐胁迫影响最轻，‘紫雁’次之，‘紫枝’和‘中科二号’最重。

2.5 NaCl 胁迫下玫瑰生物量的变化

由表 4 可以看出，随着盐浓度的增加，不同玫瑰种质的地上部和地下部鲜质量、干质量及总生物量均呈下降趋势，说明盐胁迫抑制了玫瑰的生长。与对照相比，盐浓度为 0.6% 时，野生玫瑰生物量下降的幅度最少 (41.4%)，受抑制程度最轻，其次是‘紫雁’、‘紫枝’，分别下降了 45.5%、59.7%，而‘中科二号’最重，下降了 61.9%；野生玫瑰、‘紫雁’、‘紫枝’、

‘中科二号’根系干质量分别下降 47.2%、51.8%、65.9%、72.5%；地上部分别下降了 37.9%、39.3%、55.6%、52.1%，说明根对盐胁迫更加敏感。

2.6 NaCl 胁迫下玫瑰生理指标与生物量的相关性

由表 5 可以看出,玫瑰各项生理指标均与生物量显著相关,可溶性糖、脯氨酸、K⁺ 和 Na⁺ 含量及根活力均可作为评价玫瑰耐盐能力的参考指标. 另外,

不同种质玫瑰的各项生理指标之间也存在着一定的相关关系. 其中,‘紫雁’除可溶性糖与根活力、K⁺ 与根活力之间无相关性之外,其他各项指标之间均呈显著或极显著相关;‘紫枝’中根活力与脯氨酸、K⁺ 和可溶性糖、脯氨酸与 K⁺ 之间不相关;‘中科二号’中 K⁺ 与根活力之间不相关;野生玫瑰中可溶性糖与根活力之间不相关.

表 3 NaCl 胁迫对玫瑰根活力的影响

Table 3 Effects of salt stress on the root activity of *Rose rugosa* ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)

盐浓度 NaCl concentration (%)	紫雁 Ziyan	紫枝 Purple Branch	中科二号 Zhongke 2	野生玫瑰 Wild rose
0	34.92±0.17a	50.81±0.56a	45.07±0.44a	33.50±0.73a
0.2	29.10±0.42b	36.61±0.14b	26.00±0.43b	27.96±0.55b
0.4	26.43±0.22c	32.88±0.50c	20.12±0.41c	24.85±0.30bc
0.6	20.71±0.17d	28.49±0.26d	15.96±0.43c	23.80±0.55c

表 4 NaCl 胁迫对玫瑰生长的影响

Table 4 Effects of salt stress on the growth of *Rosa rugosa*

品种或类型 Cultivar or type	盐浓度 NaCl concentration (%)	地上部鲜质量 Shoot fresh mass (g · plant ⁻¹)	地上部干质量 Shoot dry mass (g · plant ⁻¹)	地下部鲜质量 Underground fresh mass (g · plant ⁻¹)	地下部干质量 Underground dry mass	生物量 Biomass (g · plant ⁻¹)	根冠比 Root shoot ratio
紫雁 Ziyan	0	20.07±0.25a	11.65±0.67a	18.70±0.81a	11.40±0.52a	23.05±0.65a	0.98±0.03a
	0.2	18.03±0.73b	10.88±0.30a	15.57±1.11b	9.50±0.68b	20.38±0.74a	0.87±0.06ab
	0.4	16.19±0.64c	8.97±0.48b	12.78±0.30c	7.10±0.40c	16.07±0.89b	0.79±0.00b
	0.6	14.33±0.39d	7.07±0.54c	9.78±0.70d	5.50±0.17d	12.57±0.71c	0.78±0.04b
紫枝 Purple Branch	0	37.52±0.88a	19.90±0.70a	24.02±0.96a	13.18±0.55a	33.08±1.25a	0.66±0.00a
	0.2	27.36±0.72b	16.99±0.31b	18.80±0.77b	10.10±0.83b	27.08±1.15b	0.59±0.04b
	0.4	20.65±0.99c	12.87±0.44c	13.80±0.89c	7.50±0.36c	20.37±0.80c	0.58±0.01b
	0.6	15.80±1.73d	8.84±1.54d	10.10±0.81d	4.50±0.87d	13.34±2.41d	0.51±0.01c
中科二号 Zhongke 2	0	28.25±1.01a	14.89±0.64a	25.28±1.30a	13.77±0.83a	28.66±1.47a	0.92±0.02a
	0.2	23.17±0.99b	11.71±0.61b	17.50±0.99b	9.69±0.81b	21.40±1.42b	0.83±0.03b
	0.4	19.09±0.85c	9.12±0.64c	12.97±0.60c	5.84±0.43c	14.96±1.07c	0.64±0.00c
	0.6	15.50±0.88d	7.14±0.50d	10.04±0.35d	3.79±0.24d	10.92±0.74d	0.53±0.00d
野生玫瑰 Wild rose	0	16.47±0.77a	10.87±0.38a	10.58±0.16a	6.63±0.20a	17.49±0.58a	0.61±0.00a
	0.2	13.13±0.79b	8.54±0.16b	9.06±0.53b	5.00±0.21b	13.54±0.36b	0.59±0.01a
	0.4	10.85±0.21c	7.61±0.15c	7.50±0.12c	4.00±0.08c	11.61±0.22c	0.53±0.00b
	0.6	8.96±0.20d	6.75±0.07d	6.54±0.10d	3.50±0.18c	10.25±0.25d	0.52±0.02b

表 5 NaCl 胁迫下玫瑰各项生理指标及盐浓度与生物量的相关系数

Table 5 Correlation coefficients between physiological parameters and NaCl content, and biomass under salt stress

品种或类型 Cultivar or type	脯氨酸 Proline	可溶性糖 Soluble sugar	根活力 Root activity	K ⁺	Na ⁺	盐浓度 NaCl concentration
紫雁 Ziyan	-0.98 **	-0.92 *	0.95 *	0.96 **	-0.95 *	-0.99 **
紫枝 Purple Branch	-0.94 *	-0.99 **	0.92 *	0.95 *	-0.95 *	-0.99 **
中科二号 Zhongke 2	-0.98 **	-0.96 **	0.97 **	0.99 **	-0.89 *	-0.99 **
野生玫瑰 Wild rose	-0.93 *	-0.88 *	0.99 **	0.95 *	-0.98 **	-0.99 **

* $P < 0.05$; ** $P < 0.01$.

3 讨 论

3.1 盐胁迫对玫瑰叶片中可溶性糖和脯氨酸含量的影响

渗透调节是植物适应盐胁迫的基本特征之一。盐胁迫下,细胞通过积累脯氨酸、可溶性糖、无机离子等来调节细胞内的渗透势,维持水分平衡,保护细胞内代谢所需的酶活性。张丽平等^[10]研究表明,NaCl 胁迫下黄瓜叶片内脯氨酸和可溶性糖含量升高。张云起等^[11]在耐盐西瓜砧木筛选中发现,盐处理后植株体内游离脯氨酸含量增加,耐盐品种的含量高于盐敏感品种。脯氨酸能否作为植物抗逆性指标,以及脯氨酸和可溶性糖谁更适合作为评价植物耐盐性的指标,不同的植物有不同的结论。本试验中,脯氨酸和可溶性糖含量随盐浓度的增加而增加,野生玫瑰高于栽培玫瑰,且脯氨酸和可溶性糖与不同玫瑰种质的生物量之间均呈显著或极显著相关(表 5)。因此,脯氨酸和可溶性糖均可作为不同玫瑰种质间耐盐性比较的参考指标。

3.2 盐胁迫对玫瑰叶片中 Na^+ 、 K^+ 、 K^+/Na^+ 的影响

盐胁迫下,植物除易受到高浓度含盐基质产生的渗透胁迫外,还易受到盐离子过多产生的毒害作用,包括离子毒害和营养不平衡。本试验中,随着盐浓度的增加, Na^+ 增加, K^+/Na^+ 减少,正常代谢平衡受到干扰,致使植物体内营养元素缺乏,影响植物生长发育,从而导致生物量下降。汪贵斌等^[12]认为, K^+/Na^+ 可作为树木耐盐力的评价指标;吴成龙等^[13]研究发现,菊芋盐敏感品种的 K^+/Na^+ 变化幅度较大。本试验中,盐浓度为 0.6% 时,栽培玫瑰的 K^+/Na^+ 下降幅度要大于野生玫瑰,这与前人的研究结果相一致。

3.3 盐胁迫对玫瑰生物量的影响

根系生物量是植物适应盐胁迫的重要标志。程钧等^[14]报道,非盐生植物红桉木受到盐胁迫后最早的反应是叶片生长变缓,对根的生长影响很小,因而根冠比上升;也有研究指出,盐胁迫对根的抑制作用大于茎叶,根冠比下降^[15]。本试验显示,盐胁迫下玫瑰各部分的干物质积累均受到抑制,而且根系生物量受抑制程度要大于地上部,随着盐浓度的增加,根冠比呈下降趋势。

3.4 盐胁迫对玫瑰叶片光合速率的影响

光合同化速率降低是盐胁迫下植物生长受到抑制的重要原因^[16]。盐胁迫下植物光合作用受抑制是多种因素共同作用的结果,既包括渗透胁迫引起的

气孔限制因素,也包括非气孔限制因素^[17]。一般认为,如果胁迫使气孔导度减弱而叶肉细胞仍在活跃的进行光合作用,胞间 CO_2 浓度会明显下降,这种情况是典型的气孔限制所致;如果叶肉细胞本身光合能力显著降低,即使在气孔导度较低的情况下,胞间 CO_2 浓度也可能升高或不变,这时非气孔限制是光合能力降低的主要因素^[18]。本试验中,随着 NaCl 浓度增加,胞间 CO_2 浓度并没有明显变化,因此玫瑰的光合速率降低可能是非气孔限制因素造成的,这与冯立国等^[19]的研究结果一致。导致光合速率下降的原因可能是可溶性糖含量增加对光合的反馈抑制^[20],也可能是活性氧不能被及时清除而引起的^[21]。从叶片形态上看,野生玫瑰叶片质地较厚、叶色较深;栽培玫瑰叶片质地较薄、叶色较浅,这种差异也会导致以叶面积为计算基数的叶片光合速率的不同。玫瑰形态差异的形成与其生存环境密切相关。野生玫瑰的天然分布区位于沿海地带,土壤中含有一定的盐碱成分,因而对盐胁迫表现出良好的抗性;而栽培玫瑰长期远离海岸地区,经过引种驯化,适应了低盐的环境,导致其抗盐能力下降。

3.5 玫瑰耐盐指标的筛选

植物耐盐性是一个受多种因素影响、较复杂的综合性状。目前关于植物耐盐性还没有一个统一、完善的指标评价体系。因此,应综合评价植物耐盐性,避免单个指标带来的片面性^[22]。本试验中选取了 4 个生理指标,分析了其与生物量之间的相关性。结果表明,4 个生理指标均可作为评价玫瑰耐盐性的参考指标。利用这些指标的分析结果显示,野生玫瑰的耐盐性最强,栽培玫瑰中,‘紫雁’要强于‘紫枝’和‘中科二号’。

参考文献

- [1] Sun H-J (孙海菁), Wang S-F (王树凤), Chen Y-T (陈益泰). Effects of salt stress on growth and physiological index of 6 tree species. *Forest Research* (林业科学研究), 2009, **22**(3): 315-324 (in Chinese)
- [2] Yu S-C (于守超), Feng Z (丰震), Zhao L-Y (赵兰勇). Research on quantitative taxonomy of cultivars in Pingyin rose. *Acta Horticulturae Sinica* (园艺学报), 2005, **32**(2): 317-320 (in Chinese)
- [3] Feng L-G (冯立国), Sheng L-X (生利霞), Zhao L-Y (赵兰勇), et al. Changes of the aroma constituents and contents in the course of *Rosa rugosa* Thumb. flower development. *Scientia Agricultura Sinica* (中国农业科学), 2008, **41**(12): 4341-4351 (in Chinese)
- [4] Zhang R (张睿), Wei A-Z (魏安智), Yang T-X (杨途熙), et al. Research on technic of rose otto pro-

- duction from Qinwei rose. *Scientia Silvae Sinicae* (林业科学), 2005, **41**(4): 216–218 (in Chinese)
- [5] Feng L-G (冯立国), Shao D-W (邵大伟), Sheng L-X (生利霞), *et al.* Study on investigation and morphological variation of wild *Rosa rugosa* in China. *Journal of Shandong Agricultural University* (Natural Science) (山东农业大学学报·自然科学版), 2009, **40**(4): 484–488 (in Chinese)
- [6] Yu X-Y (于晓艳), Zhao L-Y (赵兰勇), Feng Z (丰震), *et al.* Self-compatibility of 22 *Rosa rugosa* Thumb. resources in China. *Scientia Agricultura Sinica* (中国农业科学), 2009, **42**(9): 3236–3242 (in Chinese)
- [7] Zhang Z-L (张志良), Qu W-Q (瞿伟菁). Experiment Guide of Plant Physiology. Beijing: Higher Education Press, 2003 (in Chinese)
- [8] Li H-S (李合生). Principle and Technology of Plant Physiological and Biochemical Experiment. Beijing: Higher Education Press, 2000 (in Chinese)
- [9] Wang B-S (王宝山), Zhao K-F (赵可夫). Comparison of extractive methods of Na and K in wheat leaves. *Plant Physiology Communications* (植物生理学通讯), 1995, **31**(1): 50–52 (in Chinese)
- [10] Zhang L-P (张丽平), Wang X-F (王秀峰), Shi Q-H (史庆华), *et al.* Differences of physiological responses of cucumber seedlings to NaCl and NaHCO₃ stress. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2008, **19**(8): 1854–1859 (in Chinese)
- [11] Zhang Y-Q (张云起), Liu S-Q (刘世琦), Yang F-J (杨凤娟), *et al.* Study on the screening of salt-tolerant watermelon stock and mechanism of salt-tolerance. *Acta Agriculturae Broeali-Occidentalis Sinica* (西北农业学报), 2003, **12**(4): 105–108 (in Chinese)
- [12] Wang G-B (汪贵斌), Cao F-L (曹福亮), Zhang W-X (张往祥). A study on salt tolerance of *Ginkgo biloba* varieties. *Scientia Silvae Sinicae* (林业科学), 2003, **39**(5): 168–172 (in Chinese)
- [13] Wu C-L (吴成龙), Zhou C-L (周春霖), Yin J-L (尹金来), *et al.* NaCl stress on the growth, ion uptake and transport of *Helianthus tuberosus* L. seedlings. *Acta Agriculturae Broeali-Occidentalis Sinica* (西北农业学报), 2006, **26**(11): 2289–2296 (in Chinese)
- [14] Cheng J (程 钧), Zhang X-P (张晓平), Fang Y-M (方炎明). Effects of different NaCl stress on several physiological characteristics and seeding growth of *Alnus rubrat*. *Chinese Agricultural Science Bulletin* (中国农学通报), 2010, **26**(6): 142–145 (in Chinese)
- [15] Ma C-L (马翠兰), Liu X-H (刘星辉), Du Z-J (杜志坚). Effects of salt stress on seed germination and seedling growth of pomelo and citrus. *Journal of Fujian Agriculture and Forestry University* (福建农林大学学报), 2003, **32**(3): 320–324 (in Chinese)
- [16] Parida AK, Das AB. Salt tolerance and salinity effects on plants: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2005, **60**: 324–349
- [17] Guo S-K (郭书奎), Zhao K-F (赵可夫). The possible mechanisms of NaCl inhibit photosynthesis of maize seedling. *Acta Phytophysiological Sinica* (植物生理学报), 2001, **27**(6): 461–466 (in Chinese)
- [18] Qian Q-Q (钱琼秋), Wei G-Q (魏国强), Zhu Z-J (朱祝军), *et al.* Response of photosynthetic apparatus in the seedlings of different cucumber cultivars to salt stress. *Bulletin of Science and Technology* (科技通报), 2004, **20**(5): 459–463 (in Chinese)
- [19] Feng L-G (冯立国), Feng Z (丰震), Zhao L-Y (赵兰勇), *et al.* Comparison of photosynthetic characteristics between wild plants and cultivars of *Rosa rugosa*. *Scientia Silvae Sinicae* (林业科学), 2007, **43**(2): 31–36 (in Chinese)
- [20] Guo X-P (郭相平), Guo F (郭 枫), Liu Z-P (刘展鹏), *et al.* Effects of water stress and rewatering on photosynthetic rate and soluble sugar of maize. *Journal of Maize Sciences* (玉米科学), 2008, **16**(6): 68–70 (in Chinese)
- [21] Wei G-Q (魏国强), Zhu Z-J (朱祝军), Fang X-Z (方学智), *et al.* The effects of NaCl stress on plant growth, chlorophyll fluorescence characteristics and active oxygen metabolism in seedlings of two cucumber cultivars. *Scientia Agricultura Sinica* (中国农业科学), 2004, **37**(11): 1754–1759 (in Chinese)
- [22] Zhang H-X (张华新), Song D (宋 丹), Liu Z-X (刘正祥). Study on physiological characteristics and salt tolerance for seedlings of 11 tree species. *Forest Research* (林业科学研究), 2008, **21**(2): 168–175 (in Chinese)

作者简介 杨志莹,女,1984年,硕士研究生. 主要从事园林植物栽培生理研究. E-mail: sindy511@163.com

责任编辑 李凤琴
