

网络出版时间:2013-01-14 16:36

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20130114.1636.033.html>

NaCl 胁迫对变异紫叶三叶草种子萌发及 保护酶活性的影响

吴楠^{1a}, 王飞^{1b}, 田治国^{1a,2}, 刘晓婷^{1b}

(1 西北农林科技大学 a 林学院, b 园艺学院, 陕西 杨凌 712100; 2 常州大学 文法与艺术学院, 江苏 常州 213164)

[摘要] 【目的】研究 NaCl 胁迫对变异紫叶三叶草种子萌发和保护酶活性的影响,以揭示其耐盐特性和生理机制。【方法】以变异紫叶三叶草、白三叶草(*Trifolium repens* L.)和红三叶草(*Trifolium pratense* L.)为试验材料,以蒸馏水处理为对照,在不同质量分数 NaCl 溶液(0.2%, 0.4%, 0.6%, 0.8%, 1.0% 和 1.2%)处理下,测定三叶草种子萌发生长指标及 3 种保护酶(SOD、POD 和 CAT)活性的变化规律。【结果】NaCl 胁迫对变异紫叶三叶草的种子萌发和幼苗生长均有一定的抑制作用。其中,总萌发率、发芽指数、发芽值、胚根长度、胚根生长速率和活力指数等均随 NaCl 胁迫程度的加重不断降低,抑制程度总体高于同一处理水平下的白三叶草和红三叶草。变异紫叶三叶草的 SOD 和 POD 活性随 NaCl 胁迫程度的加重不断减小,而 CAT 活性先降低后升高;在同一 NaCl 处理水平下, SOD 和 POD 活性的大小依次为红三叶草>白三叶草>变异紫叶三叶草,而 CAT 活性大小依次为红三叶草>变异紫叶三叶草>白三叶草。【结论】变异紫叶三叶草的耐盐性较白三叶草和红三叶草弱,但其紫叶的观赏价值较高。

[关键词] 变异紫叶三叶草; NaCl 胁迫; 种子萌发; 保护酶活性

[中图分类号] S541+.2

[文献标志码] A

[文章编号] 1671-9387(2013)02-0117-06

Effects of NaCl stress on seed germination and activities of protective enzymes in purple clover variants

WU Nan^{1a}, WANG Fei^{1b}, TIAN Zhi-guo^{1a,2}, LIU Xiao-ting^{1b}

(1 a College of Forestry, b College of Horticulture, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2 School of Humanities, Law and Art, Changzhou University, Changzhou, Jiangsu 213164, China)

Abstract: 【Objective】The effects of NaCl stress on seed germination and activities of protective enzymes in purple clover variants were studied in order to reveal the salt tolerance and physiological response mechanism. 【Method】Taking purple clover variants, *Trifolium repens* L. and *Trifolium pratense* L. as test materials, the seed germination rate, germination index, germination value, vigor index, and growth of radicles coupled with the activities of three protective enzymes (SOD, POD and CAT) were investigated under the treatment of NaCl solutions with gradient concentrations of 0 (distilled water as the control), 0.2%, 0.4%, 0.6%, 0.8%, 1.0% and 1.2%. 【Result】Results showed that the germination of seeds and seedlings of purple clover variants were inhibited by NaCl stress. With the increase of NaCl concentration, the seed germination rate, growth of radicles, germination value, germination index, root length and vigor index decreased gradually. The suppressive effect with same treatment on purple clover was more signifi-

[收稿日期] 2012-04-25

[基金项目] 西安市园林观赏花卉示范园建设子项目(NC10031(2))

[作者简介] 吴楠(1987—),女,陕西潼关人,在读硕士,主要从事观赏园艺植物生理生态研究。E-mail: wunan0702@126.com

[通信作者] 王飞(1954—),女,河南孟津人,教授,博士生导师,主要从事园艺植物种质资源评价与利用研究。

E-mail: xnwangfei521@126.com

cant than *T. repens* L. and *T. pratense* L. For purple clover variants, activities of SOD and POD decreased continuously, while the activity of CAT increased gradually with the aggravation of NaCl stress. Under the same treatment, activities of the three enzymes in purple clover variants were lower than that in *T. repens* L. and *T. pratense* L. 【Conclusion】 Compared with *T. repens* L. and *T. pratense* L., the salt tolerance of purple clover variants was relatively weaker, but the ornamental character was more valuable.

Key words: purple clover from variants; NaCl stress; seed germination; activity of protective enzymes

土壤盐渍化问题是困扰农业生产的一大难题。我国土壤盐渍化日益加重^[1], 给农业生产和园林绿化带来很大困难。在城市园林绿化中通常采取铺设渗水管道、设置隔盐层或换耕质土等改盐措施, 以期达到较好的绿化效果, 但这些措施极大地提高了园林绿化的成本。因此, 培育耐盐绿化新材料(新品种)是开发利用盐渍化土地的根本措施, 色彩丰富的耐盐绿化新材料的培育不但可以减少盐渍化土地的裸露, 还能增加植物层次感, 丰富自然环境的色彩。

三叶草(*Trifolium*) 为豆科(Leguminosae)三叶草属(*Trifolium*)多年生草本植物, 是一种分布最广的优质牧草, 也是一种优良的地被(草坪)植物。三叶草属植物约有 360 种, 其中农业上利用价值较高的约 25 种^[2]。2005 年, 西北农林科技大学博览园从白三叶草(*Trifolium repens* L.)中发现了紫色叶片的三叶草变异株, 经 4 年的反复自交选种, 其性状逐渐稳定, 暂定名为变异紫叶三叶草。与白三叶草相比, 变异紫叶三叶草具有叶片紫色、开白色花的特性, 其观赏效果更佳, 园林应用价值更大。目前, 关于变异紫叶三叶草抗盐性评价的研究尚未见报道。为此, 本研究以园林绿化中广泛应用的白三叶草(*T. repens* L.)和红三叶草(*Trifolium pratense* L.)为参照品种, 探讨了 NaCl 胁迫对变异紫叶三叶草种子萌发及幼苗保护酶活性的影响, 旨在对变异紫叶三叶草的耐盐性进行评价, 为其园林绿化应用提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料

2010-07 和 2011-07, 于西北农林科技大学博览园从连续 4 代单株选择且生长势基本一致的变异紫叶三叶草植株上采集种子, 4℃下贮存备用。白三叶草(*T. repens* L.)和红三叶草(*T. pratense* L.)种子购自西北农林科技大学新天地设施农业开发公司。选取饱满、大小均一的种子作为试验材料。

1.2 方法

1.2.1 发芽试验 分别配制质量分数为 0.2%,

0.4%, 0.6%, 0.8%, 1.0% 和 1.2% 的 NaCl 溶液, 密封保存, 备用。

由于三叶草种子硬实率较高, 因而发芽试验前须先用砂纸适度打磨种皮, 然后经 30% H_2O_2 消毒 4 min, 蒸馏水反复冲洗 5~6 遍, 滤纸吸干水分后备用。采用纸上发芽法, 选取 90 mm 口径的培养皿, 皿内铺双层滤纸, 选取籽粒饱满的种子均匀播种在滤纸上, 每皿播种 50 粒。NaCl 胁迫处理设 7 个梯度, 分别为 0(CK), 0.2%, 0.4%, 0.6%, 0.8%, 1.0% 和 1.2%, 自播种当日, 每天用少量不同处理 NaCl 溶液多次冲洗种子后, 胶头滴管吸出多余溶液, 以保持滤纸湿润为宜。胁迫处理后将培养皿置于 20℃恒温培养箱培养, 箱内相对湿度为 75%, 光暗周期为 8 h/16 h^[3]。每处理 3 皿, 重复 3 次, 共播种 63 皿。

1.2.2 测定指标及方法 (1)生长指标。以胚根伸长 0.2 cm 作为发芽标志, 每天记录萌发种子数和胚根的长度, 萌发结束后, 测定幼苗鲜质量, 计算总萌发率(G)、发芽指数(Gi)、发芽值(Vg)、胚根生长速率及活力指数(Iv), 具体计算公式如下。

$$\text{总萌发率}(G) = n/N \times 100\% \quad (1)$$

式中: n 为萌发种子数, N 为供试种子数。

$$\text{发芽指数}(Gi) = \sum Gt/Dt \quad (2)$$

式中: Gt 为第 t 天的萌发种子数, Dt 为试验持续的时间(本研究为 10 d)。

$$\text{发芽值}(Vg) = Vp \times MDG \quad (3)$$

式中: Vp 为从发芽起始到高峰出现时的平均发芽率; MDG 为发芽终期时的平均发芽率。

$$\text{胚根生长速率} = L / \sum [Gt(Dt - Gt + 0.5)] \quad (4)$$

式中: L 为各重复中全部萌发种子胚根或胚轴长度的总和; Di 为相应的发芽试验时间。

$$\text{活力指数}(Iv) = S \times Gi \quad (5)$$

式中: S 为幼苗鲜质量^[4]。

(2)保护酶活性。待发芽结束(10 d)后, 取发芽植株置于预冷钵中, 加适量(每克鲜材料加 16 mL 缓冲液)预冷的 50 mmol/L 磷酸盐缓冲液(pH 7.0, 含质量分数为 1% 的 PVP)及少量石英砂, 冰浴中

研磨成匀浆。4 ℃、12 000 g 离心 20 min,上清液即为酶液,用于超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)和过氧化氢酶(CAT)活性测定^[5]。

1.3 数据统计与分析

试验数据用 SPSS 16.0 进行统计分析,用 Duncan 方法进行多重比较($P<0.05$),用 Excel 绘图。

2 结果与分析

2.1 NaCl 胁迫对三叶草种子萌发的影响

2.1.1 对种子总萌发率的影响 从图 1 可知,变异紫叶三叶草种子的总萌发率随着 NaCl 质量分数的升高整体呈下降趋势。其中,低质量分数 NaCl 胁迫(0.2% 和 0.4% NaCl)时与对照相比差异不显著;当 NaCl 质量分数 $>0.4\%$ 时,总萌发率迅速下降,尤其在 1.0% 和 1.2% NaCl 处理下的总萌发率与对照相比分别显著下降了 93.7% 和 100% ($P<0.05$)。同一处理水平下,变异紫叶三叶草种子总萌

发率始终低于其他 2 种三叶草;0.8% NaCl 时,变异紫叶三叶草总萌发率分别是白三叶草和红三叶草的 33.9% 和 16.9% ($P<0.05$);而在 1.2% NaCl 时,变异紫叶三叶草和白三叶草种子均无萌发,红三叶草的总萌发率为 37.3%。

2.1.2 对种子发芽指数的影响 发芽指数综合了种子萌发的数目、速率以及整齐程度 3 个因素,比发芽率更能全面地反映种子的萌发情况^[6]。如图 2 显示,随着 NaCl 质量分数的升高,变异紫叶三叶草种子的发芽指数呈下降趋势。低 NaCl 质量分数(0.2% 和 0.4%)时变异紫叶三叶草种子的发芽指数与对照相比差异不显著;但在 1.0% NaCl 时,其发芽指数仅为对照的 6.3%;1.2% NaCl 时则无萌发。而白三叶草和红三叶草的发芽指数随盐胁迫程度的增强亦有不同程度的下降,但整体均高于变异紫叶三叶草。

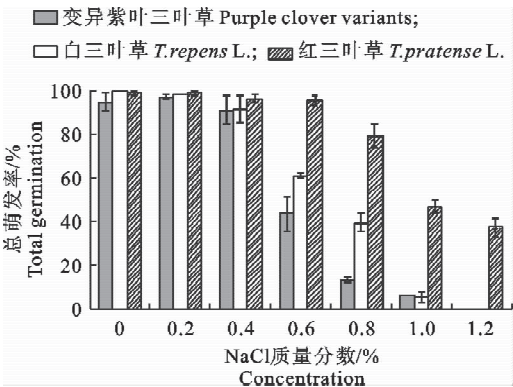


图 1 NaCl 胁迫对三叶草种子总萌发率的影响
Fig.1 Effect of NaCl on the total germination

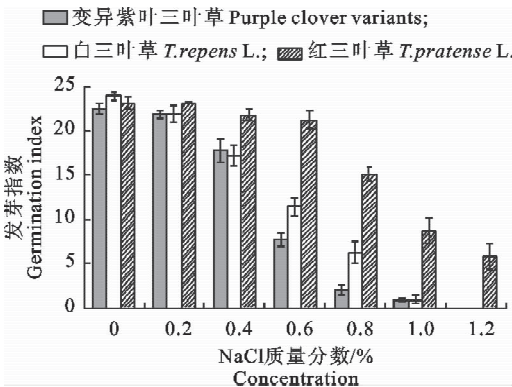


图 2 NaCl 胁迫对三叶草种子发芽指数的影响
Fig.2 Effect of NaCl on the seed germination index

2.1.3 对种子发芽值的影响 发芽值是衡量种子发芽多少和快慢以及抵御不良环境能力的一个综合指标。NaCl 胁迫对三叶草种子发芽值的影响见图 3。

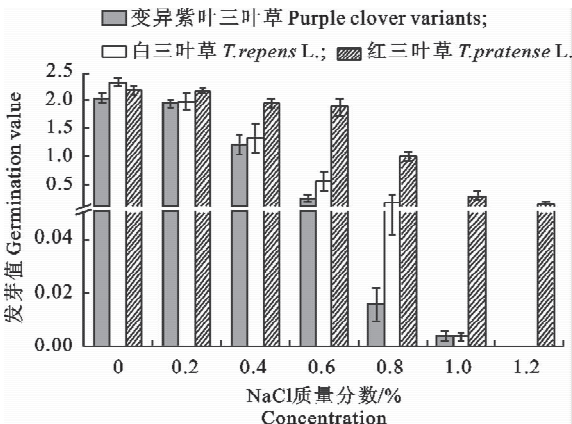


图 3 NaCl 胁迫对三叶草种子发芽值的影响

Fig.3 Effect of NaCl on the seed germination value

图 3 表明,随 NaCl 质量分数的升高,变异紫叶三叶草种子的发芽值呈下降趋势。其中,0.2% NaCl 处理下的变异紫叶三叶草种子发芽值略低于对照,但无显著差异;当 NaCl 质量分数 $>0.2\%$ 时,其发芽值显著降低,直至 1.2% 时发芽值为 0。同一处理水平下,变异紫叶三叶草种子的发芽值始终小于其他 2 种三叶草,但在低浓度(0.2%)处理下差异不显著。

2.2 NaCl 胁迫对三叶草种子生长的影响

2.2.1 对种子胚根生长的影响 种子萌发后,胚根的延伸反映植物定居成苗的特性^[7]。如表 1 所示,随 NaCl 质量分数的升高,变异紫叶三叶草胚根长度呈降低趋势,各处理与对照差异显著,直至 NaCl 质量分数达到 1.2% 时,变异紫叶三叶草种子无萌发。同时发现,仅在 NaCl 质量分数为 0.6% 时,变

异紫叶三叶草和白三叶草胚根长度的差异达到显著水平;而在同一处理水平下,变异紫叶三叶草的胚根长度均显著低于红三叶草。

由于相同处理下不同种子的萌发时间存在差异,胚根的生长时间也不同,因此速度指标较长度指标更能准确地反映盐胁迫的抑制程度^[8]。由表 1 可

见,随 NaCl 质量分数的升高,变异紫叶三叶草胚根的生长速率总体呈下降趋势,除 0.2% NaCl 处理外,其他各处理与对照存在显著性差异。同一 NaCl 质量分数处理水平下,变异紫叶三叶草的胚根生长速率较白三叶草略低,但差异不显著;而其胚根生长速率始终显著低于红三叶草。

表 1 NaCl 胁迫对三叶草种子胚根生长的影响

Table 1 Effect of NaCl on the growth of seed's radicle

NaCl 质量 分数/% Concentration	胚根长度/cm Length of radical			胚根生长速率/(cm · d ⁻¹) Radicle growth rate		
	变异紫叶三叶草 Purple clover variants	白三叶草 <i>T. repens</i> L.	红三叶草 <i>T. pratense</i> L.	变异紫叶三叶草 Purple clover variants	白三叶草 <i>T. repens</i> L.	红三叶草 <i>T. pratense</i> L.
0	11.76±1.50 c	11.25±1.55 c	18.81±2.16 a	0.55±0.06 cd	0.52±0.08 cde	0.89±0.10 a
0.2	7.70±0.48 de	8.64±1.03 d	14.46±2.38 b	0.43±0.08 defg	0.45±0.04 defg	0.68±0.10 b
0.4	7.54±0.85 de	7.73±0.75 de	11.95±1.94 c	0.38±0.01 efgh	0.43±0.05 defg	0.59±0.10 bc
0.6	3.82±0.75 g	5.86±0.33 ef	8.52±1.14 d	0.25±0.08 hi	0.35±0.07 fgh	0.47±0.13 cdef
0.8	3.52±2.27 g	3.06±0.55 g	7.97±1.66 de	0.24±0.05 hi	0.26±0.14 hi	0.42±0.04 defg
1.0	3.17±0.17 g	3.00±0.16 g	6.01±1.35 e	0.19±0.01 i	0.24±0.09 hi	0.35±0.08 fgh
1.2	0.00±0.00 h	0.00±0.00 h	3.95±0.19 fg	0.00±0.00 j	0.00±0.00 j	0.31±0.02 ghi

注:不同小写字母表示 $P<0.05$ 水平上差异显著。表 2 同。

Note:The different letters indicate the significant difference at $P<0.05$. The same as table 2.

2.2.2 对种子活力指数的影响 种子活力比常规发芽率更能反映种子在实际条件下的萌发速度和整齐度以及幼苗健壮生长的潜势^[9]。由图 4 可知,随 NaCl 质量分数的升高,变异紫叶三叶草种子活力持续降低,在 0.6% NaCl 处理时其种子活力比对照显著下降 73.1% ($P<0.05$)。与白三叶草相比,当 NaCl 质量分数为 0.6% 时变异紫叶三叶草的活力指数与之无明显差异;在 1.2% 时,二者的活力指数均为 0;而在同一处理水平下,变异紫叶三叶草的种子活力始终显著低于红三叶草。

NaCl 质量分数的升高,变异紫叶三叶草的 SOD 活性呈下降趋势,且各处理与对照间存在显著性差异,其中 0.4% 和 0.6% NaCl 处理的 SOD 活性分别比对照下降了 15.9% 和 30.1% ($P<0.05$)。白三叶草和红三叶草 SOD 活性的整体变化趋势与变异紫叶三叶草相似,但在同一处理水平下,变异紫叶三叶草的 SOD 活性显著低于白三叶草和红三叶草。

2.3.2 对 POD 活性的影响 由表 2 可知,随 NaCl 质量分数的升高,变异紫叶三叶草 POD 活性呈降低趋势,但差异不显著。同 NaCl 质量分数处理水平下,除 0.6% NaCl 处理外,变异紫叶三叶草的 POD 活性均显著低于白三叶草;而与红三叶草相比,变异紫叶三叶草 POD 活性始终显著低于红三叶草。

2.3.3 对 CAT 活性的影响 表 2 显示,随 NaCl 质量分数的升高,变异紫叶三叶草 CAT 活性表现为先降后升的变化趋势,并在 NaCl 质量分数为 0.2% 时达到最低值;之后其 CAT 活性持续增大,在 0.6% 时大于对照,但各处理水平间差异均不显著。白三叶草的 CAT 活性变化趋势与变异紫叶三叶草相似,在此过程中变异紫叶三叶草的 CAT 活性始终高于同一处理水平下的白三叶草,但差异不显著;而红三叶草 CAT 活性随 NaCl 质量分数的升高而降低,并于 0.6% 时低于变异紫叶三叶草,但无显著差异。

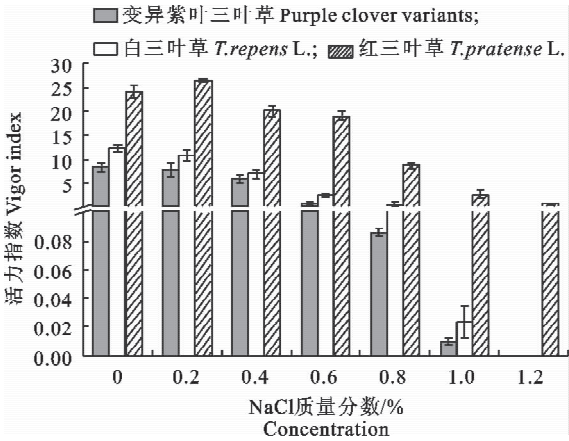


图 4 NaCl 胁迫对三叶草种子活力指数的影响

Fig. 4 Effect of NaCl on the seed vigor index

2.3 NaCl 胁迫对三叶草保护酶活性的影响

2.3.1 对 SOD 活性的影响 从表 2 可以看出,随

表 2 NaCl 胁迫对三叶草 SOD、POD 和 CAT 活性的影响
Table 2 Effect of NaCl on the activities of SOD,POD and CAT

NaCl 质量 分数/% Concen- tration	SOD 活性/(U·g ⁻¹ ·h ⁻¹)			POD 活性/(U·g ⁻¹ ·min ⁻¹)			CAT 活性/(U·g ⁻¹ ·min ⁻¹)		
	SOD activity			POD activity			CAT activity		
	变异 紫叶三叶草 Purple clover variants	白三叶草 <i>T. repens</i> L.	红三叶草 <i>T. pratense</i> L.	变异 紫叶三叶草 Purple clover variants	白三叶草 <i>T. repens</i> L.	红三叶草 <i>T. pratense</i> L.	变异 紫叶三叶草 Purple clover variants	白三叶草 <i>T. repens</i> L.	红三叶草 <i>T. pratense</i> L.
0	178.26±1.35 c	202.25±0.72 a	181.26±1.00 c	10.18±0.53 fgh	14.85±1.09 e	56.40±1.79 a	0.30±0.08 b	0.20±0.11 b	0.79±0.37 a
0.2	142.95±1.15 g	187.78±3.45 b	178.15±3.03 c	9.61±0.71 gh	13.49±0.12 ef	51.14±0.40 b	0.16±0.01 b	0.10±0.05 b	0.75±0.57 a
0.4	113.90±0.43 i	171.61±2.08 d	152.45±1.00 f	8.93±0.28 h	12.67±0.53 efg	42.00±6.12 c	0.20±0.05 b	0.13±0.02 b	0.35±0.29 b
0.6	113.53±1.34 i	165.05±4.97 e	126.68±0.52 h	7.71±0.19 h	9.45±0.52 gh	38.28±0.80 d	0.33±0.11 b	0.22±0.11 b	0.16±0.05 b

注:由于高质量分数 NaCl 胁迫下种子萌发数量有限,导致无法提取足够酶液,因而无相关数据。
Note:Because seed germination quantity is limited at high concentrations of NaCl,there are no enough enzyme fluid,therefore no relevant data.

3 结论与讨论

盐分是盐生环境中影响种子萌发最重要的环境因子,高盐可以引发或强迫种子进入休眠状态^[7]。盐胁迫对植物种子萌发、芽和根的生长均有显著的抑制作用^[10]。本试验中,不同质量分数的 NaCl 溶液处理下 3 种三叶草种子的总萌发率、发芽指数、发芽值以及胚根的生长速率和活力指数均较对照低,说明 NaCl 胁迫明显抑制了三叶草种子的萌发,这与 Munns^[11]在小麦中的研究结果相一致。其原因可能是随着 NaCl 胁迫增强,种子周围水势下降,细胞内外水势差也随之变小,导致种子吸水困难,胚乳内储藏物质不能动员,呼吸作用受到抑制,难以萌发^[12]。

张侠等^[13]对三叶草进行 NaCl 胁迫的研究表明,低质量分数(0.6%) NaCl 溶液对大花三叶草(*Trifolium michelianum*)、草莓三叶草(*Trifolium fragiferum*)和波斯三叶草(*Trifolium resupinatum*)种子萌发和幼苗生长的影响不显著,当 NaCl 质量分数达到 1.2% 及以上时,可明显抑制种子萌发和幼苗生长,且品种之间差异明显。这与本研究结果基本一致,但当 NaCl 质量分数大于 0.6% 时,变异紫叶三叶草种子萌发和幼苗生长均受到了严重抑制。因而变异紫叶三叶草种子萌发的耐盐范围应小于 0.6%。

本研究中,随 NaCl 质量分数的升高,变异紫叶三叶草的总萌发率和胚根长度均呈下降趋势,这与王玉祥等^[14]对其他三叶草品种的研究结果一致。高质量分数 NaCl 胁迫推迟了种子的萌发,进而延缓了胚根的伸长。相同 NaCl 胁迫下,变异紫叶三叶草胚根的生长迟于白三叶草和红三叶草。另外,本试验中,在 NaCl 质量分数为 1.2% 时白三叶草的

发芽指数和活力指数均为 0,而红三叶草的发芽指数为 5.77,活力指数为 0.90。但崔英^[15]对高加索三叶草、红三叶草和白三叶草的耐盐性研究表明,当 NaCl 质量分数为 1.0% 时,白三叶草与红三叶草的活力指数均趋近于 0。这可能与种子的发芽环境不同有关。

本试验中,随 NaCl 质量分数的升高,变异紫叶三叶草的 SOD 和 POD 活性均持续降低,但 Ahmad 等^[16]认为,低浓度盐胁迫下植物体内抗氧化酶活性表现为上升趋势,从而提高植物的耐盐性,这可能与试验材料本身有关,说明在 NaCl 胁迫下变异紫叶三叶草的 3 种保护酶的调控机制与其他植物不同。在 0~0.2% 时,CAT 活性随 NaCl 质量分数的升高而下降,在 0.2%~0.6% 时 CAT 活性随 NaCl 质量分数的升高而升高,这与王娟娟等^[7]对四翅滨藜的研究结果相似。变异紫叶三叶草和白三叶草的 3 种保护酶的变化趋势相同,而抗性强的红三叶草的 CAT 活性随盐胁迫质量分数的升高而降低。在同一处理水平下,变异紫叶三叶草的 SOD 和 POD 活性始终低于白三叶草和红三叶草,而 CAT 活性在三者间差异不显著,说明其耐盐性不如其他 2 种三叶草。

综上所述,变异紫叶三叶草对低质量分数的盐胁迫具有一定的耐受力,但其耐盐性相对于白三叶草和红三叶草较弱。这可能是由于变异紫叶三叶草的叶片为紫色,其光合作用和生长势较弱。但紫色的叶片在园林绿化中是一个很重要的特性,生产上可在含盐低的地区推广应用,从而增加园林景观的层次感和丰富度。本试验仅在室内条件下初步鉴定了变异紫叶三叶草种子萌发阶段的耐盐性,在大田中的耐盐性表现及其他抗性生理特性还有待于进一步研究。

[参考文献]

- [1] 刘振虎. 几种草坪草 NaCl 胁迫反应及其耐盐机制的分析研究 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2001.
Liu Z H. Studies on the reaction of NaCl stress and the mechanism of salt tolerance in some turfgrass species [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2001. (in Chinese)
- [2] 樊锦春, 刘以信, 朱风华. 草莓三叶草的利用与栽培 [J]. 特种经济动植物, 2003, 6(3): 29.
Fan J C, Liu Y X, Zhu F H. The using and cultivation of *Trifolium fragiferum* L. [J]. Special Economic Animal and Plant, 2003, 6(3): 29. (in Chinese)
- [3] 张鹤山, 陈明新, 田 宏, 等. 高温胁迫下白三叶种子萌发特性及耐热性研究 [J]. 种子, 2010, 29(8): 1-5.
Zhang H S, Chen M X, Tian H, et al. Studies on seed germination characteristics and heat tolerance of *Trifolium repens* L. under high temperature stress [J]. Seed, 2010, 29(8): 1-5. (in Chinese)
- [4] Ahmed D, Karim B H, Claude G, et al. Salinity effects on germination, growth, and seed production of the halophyt *Cakile maritima* [J]. Plant and Soil, 2004, 262(1): 179-189.
- [5] 高俊凤. 植物生理学实验技术 [M]. 西安: 世界图书出版西安公司, 2000.
Gao J F. Plant physiology laboratory technology [M]. Xi'an: World Publishing Corporation, 2000. (in Chinese)
- [6] 王娟娟, 张文辉, 刘新成. NaCl 胁迫对 3 种不同处理四翅滨藜种子萌发的影响 [J]. 西北农业学报, 2010, 19(1): 104-111.
Wang J J, Zhang W H, Liu X C. Effects of seed germination in three different treatments' *Atriplex canescens* under NaCl stress [J]. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica, 2010, 19(1): 104-111. (in Chinese)
- [7] 王娟娟, 张文辉. NaCl 和 Na₂CO₃ 胁迫对四翅滨藜种子萌发及保护酶活性的影响 [J]. 林业科学, 2011, 47(2): 154-160.
Wang J J, Zhang W H. Effects of activities of protective enzymes and seed germination in *Atriplex canescens* under NaCl and Na₂CO₃ stress [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2011, 47(2): 154-160. (in Chinese)
- [8] 刘宝玉, 张文辉, 刘新成, 等. 沙枣和柠条种子萌发期耐盐性研究 [J]. 植物研究, 2007, 27(6): 721-728.
Liu B Y, Zhang W H, Liu X C, et al. Salt tolerance of *Elaeagnus angustifolia* L. and *Caragana korshinskii* Kom. during germination [J]. Bulletin of Botanical Research, 2007, 27(6): 721-728. (in Chinese)
- [9] 李培旺, 李昌珠, 蒋丽娟, 等. 3 种木本油脂植物种子活力研究 [J]. 经济林研究, 2006, 24(1): 71-73.
Li P W, Li C Z, Jiang L J, et al. Research on the seeds germination vigor of three species of woody oil plants [J]. Nonwood Forest Research, 2006, 24(1): 71-73. (in Chinese)
- [10] Inan G, Zhang Q, Li P, et al. Salt cress. A halophyte and cryophyte Arabidopsis relative model system and its applicability to molecular genetic analyses of growth and development of extremophiles [J]. Plant Physiol, 2004, 135(3): 1718-1737.
- [11] Munns R. Comparative physiology of salt and water stress [J]. Plant Cell and Environment, 2002, 25(2): 239-250.
- [12] 杨春武, 贾娜尔·阿汗, 石德成, 等. 复杂盐碱条件对星星草种子萌发的影响 [J]. 草业学报, 2006, 15(5): 45-51.
Yang C W, Jiananer Ahan, Shi D C, et al. Effects of complex salt and alkali conditions on the germination of seeds of *Puccinellia tenuiflor* [J]. Acta Prataculturae Sinica, 2006, 15(5): 45-51. (in Chinese)
- [13] 张 侠, 宋莉璐, 魏艳丽, 等. NaCl 胁迫对三叶草种子萌发的影响 [J]. 山东科学, 2008, 21(5): 11-14.
Zhang X, Song L L, Wei Y L, et al. The effects of NaCl stress on seed germination and growth of *Trifolium* [J]. Shandong Science, 2008, 21(5): 11-14. (in Chinese)
- [14] 王玉祥, 刘 芳, 陈爱萍, 等. NaCl 胁迫对三叶草种子耐盐性的评价 [J]. 新疆农业大学学报, 2011, 34(1): 16-19.
Wang Y X, Liu F, Chen A P, et al. Assessment on salt tolerance of *Trifolium repens* seed under NaCl stress [J]. Journal of Xinjiang Agricultural University, 2011, 34(1): 16-19. (in Chinese)
- [15] 崔 英. 三种三叶草的耐盐性和抗寒性研究 [D]. 内蒙古呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2006.
Cui Y. Study on the salt tolerance and cold resistance of 3 clovers [D]. Hohhot, Inner Mongolia: Inner Mongolia University, 2006. (in Chinese)
- [16] Ahmad M S A, Ali Q, Ashraf M, et al. Involvement of polyamines, abscisic acid and anti-oxidative enzymes in adaptation of blue panicgrass (*Panicum antidotale* Retz.) to saline environments [J]. Environmental and Experimental Botany, 2009, 66(3): 409-417.