

盐碱胁迫对少花蒺藜草种子萌发和幼苗生理特性的影响

闫蒙, 韩肃磊, 包金连, 周立业

(内蒙古民族大学农学院, 内蒙古 通辽 028000)

摘要:少花蒺藜草(*Cenchrus incertus*)是科尔沁沙地入侵最为严重的恶性杂草之一,近年来在有益渍化的区域零星分布。为了解少花蒺藜草耐盐能力及适应机制,本试验采用2种浓度的NaCl与4种浓度NaHCO₃模拟8种混合盐对少花蒺藜草种子及幼苗进行处理,观察种子的萌发情况并测定盐胁迫后幼苗的各项生理指标。结果表明:各比例混合盐均降低了种子发芽率、发芽势及发芽指数,当NaCl浓度为0.20 mol/L,NaHCO₃浓度为0.20 mol/L及NaCl浓度为0.20 mol/L,NaHCO₃浓度为0.40 mol/L时发芽指标值均为0;在受到低浓度盐碱胁迫时,少花蒺藜草可通过提高抗氧化酶活性及渗透调节物质含量来增强自身耐盐性,当混合盐NaCl 0.10 mol/L,NaHCO₃ 0.20 mol/L时少花蒺藜草叶片各项生理指标达到最大值,当NaCl与NaHCO₃浓度均为0.20 mol/L时少花蒺藜草无法正常生长;NaCl与NaHCO₃的交互作用对少花蒺藜草种子萌发及幼苗生理特性(除过氧化氢酶活性外)具有显著影响。

关键词:少花蒺藜草;混合盐胁迫;萌发;生理特性

中图分类号:S459 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2022)04-0009-08

DOI:10.13817/j.cnki.cycp.2022.04.002



生物入侵对入侵地区的生态环境、社会经济和人类健康都造成了严重的威胁,是21世纪5大全球性环境问题之一^[1]。少花蒺藜草(*Cenchrus incertus*)是禾本科蒺藜属一年生草本植物,原产于北美洲及热带沿海地区,1983年在科尔沁沙地首次被记录,迄今为止已成为科尔沁沙地危害最为严重的入侵杂草^[2],少花蒺藜草的入侵已严重威胁当地农牧业生产、生态环境及农牧民生活^[3]。

已有的报道及本课题组野外调查发现,在科尔沁沙地盐渍化区域已有少花蒺藜草零星分布,预示少花蒺藜草有向盐碱区域蔓延的趋势。种子萌发期和幼

苗期是对盐胁迫的敏感期^[4]。陈雅琦等^[5]研究发现盐碱胁迫显著抑制醉马草种子萌发和幼苗生长,Na₂CO₃对醉马草种子萌发和幼苗生长抑制作用强于中性盐;郑译儒等^[6]研究发现NaHCO₃和Na₂CO₃混合处理抑制碱茅和披碱草的正常生长;潘平等^[7]的研究结果表明,0.2% NaCl溶液对黑果枸杞种子萌发没有抑制作用,0.4%以上的混合盐溶液显著抑制幼苗生长,4种不同类型的盐对黑果枸杞幼苗生长抑制强弱为混合盐>NaHCO₃>Na₂SO₄>NaCl。雷强等^[8]发现,随着NaCl浓度的增加,少花蒺藜草种子发芽率、发芽势和萌发指数总体呈下降趋势,低浓度NaCl可以促进少花蒺藜草种子的萌发,高浓度NaCl抑制少花蒺藜草种子的萌发。

科尔沁沙地和辽河平原交错区分布着大面积的盐碱化区域^[9],对少花蒺藜草耐盐性的研究可进一步了解少花蒺藜草在科尔沁沙地盐碱环境中所占有的生态位,适应性和潜在的扩散能力。本试验通过模拟盐渍化环境,观察并分析不同盐浓度下少花蒺藜草种子萌发特点及幼苗的生理特性,以期揭示少花蒺藜草

收稿日期:2021-04-12; **修回日期:**2021-04-30

基金项目:内蒙古自然科学基金基金(2022MS03060);内蒙古自治区直属高校专项(GXKY22234)

作者简介:闫蒙(1997-),男,内蒙古自治区呼和浩特市人,硕士研究生。

E-mail:ymeng324@163.com

周立业为通信作者: E-mail:toni2002@126.com

种群潜在的入侵能力和对环境的适应能力。

1 材料和方法

1.1 试验材料

试验所需种子(刺苞)于2020年10月采集于通辽市科尔沁区四合屯少花蒺藜草入侵地,采集地土壤pH值为6.8~7.1。

1.2 盐碱条件模拟

2种浓度的NaCl与4种浓度的NaHCO₃两两组合,共8种不同的混合液(表1)。

表1 混合盐组分的摩尔浓度及pH值

Table 1 Molar concentration and pH of mixed salt components

盐分组成/(mol·L ⁻¹)		pH值
NaCl	NaHCO ₃	
0.10	0.05	8.24
0.10	0.10	8.30
0.10	0.20	8.43
0.10	0.40	8.36
0.20	0.05	8.36
0.20	0.10	8.60
0.20	0.20	8.38
0.20	0.40	8.33

1.3 种子萌发及幼苗培养

1.3.1 种子萌发 挑选饱满无发霉变质的种子置于培养皿中,以滤纸为发芽床,种子萌发前用0.5%的高锰酸钾溶液消毒10 min,用蒸馏水清洗3~5次(冲洗干净),将消毒好的种子置于铺有两层滤纸的培养皿($\phi=9$ cm)中,每个培养皿放置30颗种子,每个处理6次重复,分别加入相应的处理液直至滤纸饱和,以加蒸馏水为对照,所有培养皿置于光照强度为5000 lx、温度25℃、光周期12 h/12 h(昼/夜)光照培养箱中培养,培养皿用保鲜膜覆盖,用针扎10个小孔,尽量减少水分蒸发的同时保证充足的氧气,每日用称重法补充相应的处理液,以维持盐浓度^[10],观察并记录种子发芽数。以胚根长度为种子的长度、胚芽的长度为种子的1/2长度作为萌发标准,以连续3 d内无新增发芽数视为发芽结束。

1.3.2 幼苗培养 幼苗采用室内花盆培养,基质为蛭石与沙土混合:蛭石=1:1,经测定土壤基质pH值7.0,最大持水量为60.74%。选用上口直径22 cm,高15 cm的花盆,每盆种植表面消毒的少花蒺藜草种子

150粒,浇足水分,使其正常萌发,出苗后正常管理,待其株高长至15~20 cm时,每盆保留100株长势良好的幼苗,随机分成对照组(CK)和胁迫组,对照组每3 d补充1次水分,胁迫组每3 d补充相应的处理液,浇灌体积为基质最大持水量的1/5,每个处理6个重复,胁迫10 d后取样,测定各项生理指标。

1.4 测量指标及方法

1.4.1 发芽指标测定 发芽率(GP)=最终发芽种子数/种子总数×100%

发芽势(GE)=第3 d发芽种子数/供试种子数×100%

发芽指数(GI)= $\sum(Gt/Dt)^{[11]}$

式中:Dt为萌发天数,Gt为与Dt相应的每天的萌发种子数。

相对盐害率=(对照发芽率-处理发芽率)/对照发芽率×100%^[12]。

1.4.2 生理指标测定 采用紫外分光光度计测定过氧化氢酶(CAT)活性;过氧化物酶(POD)活性采用愈创木酚法测定;超氧化物歧化酶(SOD)活性采用氮蓝四唑(NBT)比色法测定;可溶性糖含量采用蒽酮比色法测定;采用考马斯亮蓝G-250比色法测可溶性蛋白(SP)含量;游离氨基酸含量采用茚三酮染色法测定;脯氨酸含量采用磺基水杨酸法测定^[13]。

1.5 数据分析

使用Microsoft Excel 2010软件整理数据及制表作图,所有数据均为平均值。使用SPSS 26.0软件进行数据统计分析,应用双因素方差分析(Two-way ANOVA)检验各生长及生理指标在不同盐浓度胁迫下的差异显著性($P<0.05$)。

2 结果与分析

2.1 盐碱胁迫对少花蒺藜草种子萌发的影响

2.1.1 盐碱胁迫对少花蒺藜草种子发芽指标的影响 当NaCl浓度为0.10 mol/L和0.20 mol/L时,少花蒺藜草种子的发芽率、发芽势均随着NaHCO₃浓度的增加而降低,与对照相比发芽率、发芽势差异显著($P<0.05$) (表3),在NaCl浓度为0.10 mol/L,NaHCO₃为0.05 mol/L时,少花蒺藜草种子的发芽率和发芽势仍分别达到了56.67%和50%,相对盐害率也仅为36.72%;当NaCl浓度为0.20 mol/L,NaHCO₃

为 0.20 mol/L 和 0.40 mol/L 时,少花蒺藜草种子的发芽率及发芽势均为 0,相对盐害率也都达到了 100%。

NaHCO₃ 浓度相同时,0.10 mol/L NaCl 浓度处理下少花蒺藜草种子的发芽率和发芽势均高于 0.20 mol/L NaCl 浓度处理下的发芽率和发芽势。在

NaHCO₃ 浓度为 0.05、0.10 mol/L 时,随着 NaCl 浓度的增加发芽率和发芽势呈显著降低的趋势 ($P < 0.05$)。除混合盐碱为 NaCl 0.10 mol/L,NaHCO₃ 为 0.05 mol/L 外,少花蒺藜草种子的发芽指数均显著低于对照组 ($P < 0.05$)。

表 2 盐碱胁迫下少花蒺藜草种子萌发指标

Table 2 Seed germination index of *C. incertus* under saline-alkali stress

NaCl 浓度/ (mol·L ⁻¹)	NaHCO ₃ 浓度/ (mol·L ⁻¹)	发芽率/%	发芽势/%	发芽指数	相对盐害率/%
0	0	84.44±0.21 ^{a/a}	64.44±0.05 ^{a/a}	7.90±0.69 ^{a/a}	0
0.10	0.05	56.67±0.10 ^{b/a}	50.00±0.10 ^{b/a}	7.48±2.50 ^{a/a}	36.72
	0.10	21.11±0.05 ^{c/a}	17.78±0.05 ^{c/a}	2.70±1.67 ^{b/a}	75.08
	0.20	6.67±0.02 ^{de/a}	3.33±0.03 ^{d/a}	0.05±0.40 ^{b/a}	96.1
	0.40	3.33±0.01 ^{e/a}	3.33±0.02 ^{d/a}	0.16±0.58 ^{b/a}	98.67
0.20	0.05	14.44±0.03 ^{cd/b}	10.00±0.03 ^{cd/b}	1.35±0.10 ^{b/b}	82.92
	0.10	10.00±0.02 ^{de/b}	6.67±0.03 ^{cd/b}	1.58±0.21 ^{b/b}	88.15
	0.20	0 ^{e/b}	0 ^{d/a}	0 ^{b/a}	100
	0.40	0 ^{e/a}	0 ^{d/a}	0 ^{b/a}	100

注:斜杠前同列不同小写字母表示相同 NaCl 浓度下在 $P < 0.05$ 水平上差异显著,斜杠后同列不同小写字母表示相同 NaHCO₃ 浓度下在 $P < 0.05$ 水平上差异显著

2.1.2 NaCl、NaHCO₃ 及其互作对少花蒺藜草种子萌发的影响 NaCl 与 NaHCO₃ 对少花蒺藜草种子发芽率、发芽势及发芽指数均有显著的交互作用 ($P <$

0.05),且 NaCl 与 NaHCO₃ 均显著影响少花蒺藜种子的发芽指标 ($P < 0.05$) (表 3)。

表 3 NaCl 和 NaHCO₃ 对少花蒺藜草种子萌发的双因素方差分析

Table 3 Effect of NaCl and NaHCO₃ on seed germination of *C. incertus* by two factor analysis of variance

萌发指标	NaCl			NaHCO ₃			NaCl × NaHCO ₃		
	df	F	P	df	F	P	df	F	P
发芽率	1	69.333	0.000	3	88.41	0.000	3	30.017	0.000
发芽势	1	29.455	0.000	3	39.758	0.000	3	21.697	0.000
发芽指数	1	17.530	0.000	3	21.503	0.000	3	10.323	0.001

2.2 盐碱胁迫对少花蒺藜草幼苗生理特性的影响

2.2.1 盐碱胁迫对少花蒺藜草幼苗过氧化氢酶 (CAT) 活性的影响 混合盐碱胁迫下,NaCl 为 0.10 mol/L 时少花蒺藜草叶片 CAT 活性均显著高于 CK 和 NaCl 为 0.20 mol/L 时的 CAT 活性 ($P < 0.05$) (图 1)。NaCl 浓度相同时,CAT 活性随 NaHCO₃ 浓度增加呈现先升高后下降的趋势,当 NaCl 为 0.10 mol/L 时,CAT 活性在 NaHCO₃ 浓度为 0.20 mol/L 处达到最大值 (221.78 U/g),但与 NaHCO₃ 浓度为 0.05、0.10 mol/L 时无显著差异 ($P > 0.05$),三者均显著高于 NaHCO₃ 浓度为 0.40 mol/L 时少花蒺藜草叶片 CAT 活性;当 NaCl 为 0.20 mol/L 时,少花蒺藜草叶片 CAT 活性在 NaHCO₃ 浓度为 0.10 mol/L 时达到最

大值,与 NaHCO₃ 浓度为 0.05、0.20 mol/L 时无显著差异 ($P > 0.05$),三者均显著高于 NaHCO₃ 浓度为 0.40 mol/L 时少花蒺藜草叶片 CAT 活性。

2.2.2 盐碱胁迫对少花蒺藜草幼苗超氧化物歧化酶活性的影响 当 NaHCO₃ 浓度相同时,少花蒺藜草叶片 SOD 活性随着 NaCl 浓度的升高而显著降低 (除 NaHCO₃ 浓度为 0.10 mol/L 外) ($P < 0.05$)。当 NaCl 浓度相同时,少花蒺藜草叶片 SOD 活性均表现为随着 NaHCO₃ 浓度的升高而降低,NaCl 为 0.10 mol/L 时,SOD 活性在 NaHCO₃ 浓度为 0.20 mol/L 时达到最大,显著高于 CK 和其他处理 ($P < 0.05$),其他 3 个处理间无显著差异 ($P > 0.05$);当 NaCl 为 0.20 mol/L 时,SOD 活性在 NaHCO₃ 浓度为 0.10 mol/L 处达到最大,

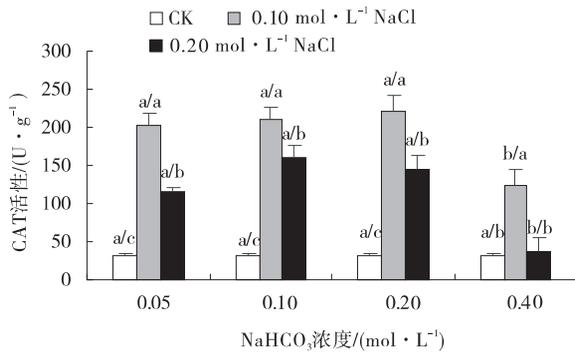


图1 不同处理下少花蒺藜草幼苗CAT活性

Fig. 1 Changes of CAT activity of *C. incertus* seedlings under different treatments

注:斜杠前不同小写字母表示相同NaCl浓度下在 $P < 0.05$ 水平上差异显著,斜杠后不同小写字母表示相同 NaHCO_3 浓度下在 $P < 0.05$ 水平上差异显著。下同

显著高于CK和其他处理($P < 0.05$),其他3个处理间无显著差异($P > 0.05$)(图2)。

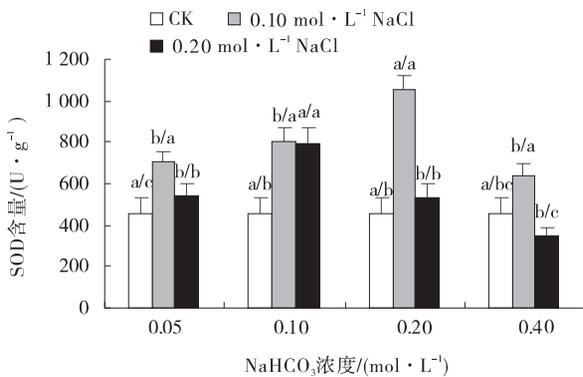


图2 不同处理下少花蒺藜草幼苗SOD活性

Fig. 2 SOD activity of *C. incertus* seedlings under different treatments

2.2.3 盐碱胁迫对少花蒺藜草幼苗过氧化物酶活性的影响 混合盐碱胁迫下NaCl为0.10 mol/L时少花蒺藜草叶片POD活性均显著高于NaCl为0.20 mol/L时POD活性($P < 0.05$)(图3)。在NaCl浓度相同时,POD活性的变化趋势与SOD活性相似,均呈现随 NaHCO_3 浓度增加先升高后降低的趋势,当NaCl为0.10 mol/L时,POD活性在 NaHCO_3 浓度为0.20 mol/L处达到最大值,与 NaHCO_3 浓度为0.10 mol/L时的POD活性无显著差异($P > 0.05$),二者均显著高于 NaHCO_3 浓度为0.05 mol/L及0.40 mol/L ($P < 0.05$);当NaCl为0.20 mol/L时,POD活性在 NaHCO_3 浓度为0.10 mol/L处达到最大值,显著高于CK和其他3个处理($P < 0.05$)。

2.2.4 盐碱胁迫对少花蒺藜草幼苗可溶性蛋白含量

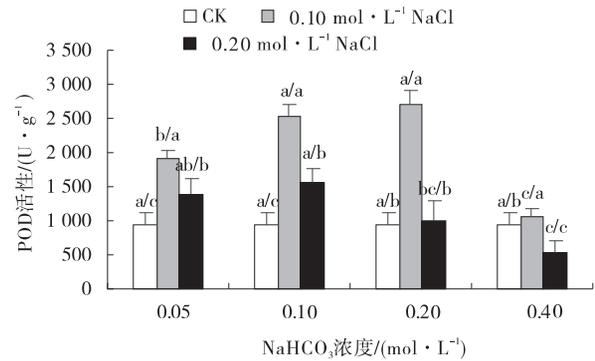


图3 不同处理下少花蒺藜草幼苗POD活性

Fig. 3 POD activity of *C. incertus* seedlings under different treatments

的影响 混合盐碱胁迫下NaCl为0.10 mol/L时少花蒺藜草叶片可溶性蛋白含量均显著高于CK和NaCl为0.20 mol/L时的可溶性蛋白含量($P < 0.05$)(图4)。在NaCl浓度相同时,少花蒺藜草叶片可溶性蛋白含量随 NaHCO_3 浓度增加呈现先升高后下降的趋势,当NaCl为0.10 mol/L时,可溶性蛋白含量在 NaHCO_3 浓度为0.20 mol/L处达到最大值3.19 $\mu\text{g/g}$,并且不同 NaHCO_3 浓度下可溶性蛋白含量均呈显著性差异($P < 0.05$);当NaCl为0.20 mol/L时,可溶性蛋白含量在 NaHCO_3 浓度为0.10 mol/L处达到最大值,且显著高于其他处理($P < 0.05$)。

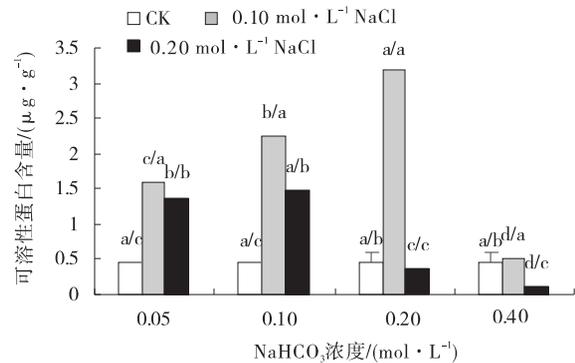


图4 不同处理下少花蒺藜草幼苗可溶性蛋白含量

Fig. 4 Soluble protein content of *C. incertus* seedlings under different treatments

2.2.5 盐碱胁迫对少花蒺藜草幼苗可溶性糖含量的影响 混合盐碱胁迫下NaCl为0.10 mol/L时少花蒺藜草叶片可溶性糖含量均显著高于CK和NaCl为0.20 mol/L时可溶性糖含量($P < 0.05$)。在NaCl浓度相同时,可溶性糖含量的变化趋势与可溶性蛋白含量相似,均呈现随 NaHCO_3 浓度增加先升高后降低的趋势,当NaCl为0.10 mol/L和0.20 mol/L时,可溶性

糖含量均在 NaHCO_3 浓度为 0.20 mol/L 处达到最大值,且分别显著高于 NaHCO_3 浓度为 0.05 、 0.10 和 0.40 mol/L 时的可溶性糖含量 ($P < 0.05$),此三者间也差异显著 ($P < 0.05$) (图5)。

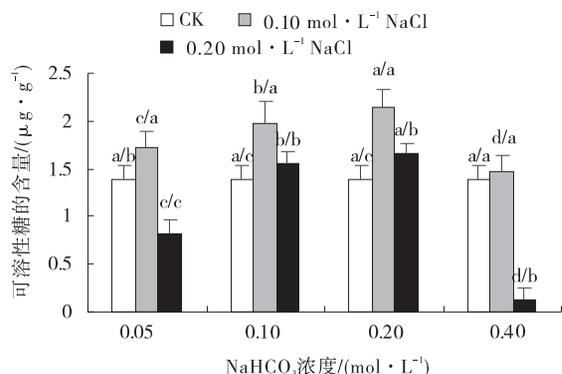


图5 不同处理下少花蒺藜草幼苗可溶性糖含量

Fig. 5 Soluble sugar content of *C. incertus* seedlings under different treatments

2.2.6 盐碱胁迫对少花蒺藜草幼苗游离氨基酸含量的影响 在 NaCl 浓度相同时,少花蒺藜草叶片游离氨基酸含量随 NaHCO_3 浓度增加呈先升高后下降的趋势,当 NaCl 为 0.10 mol/L 和 0.20 mol/L 时,游离氨基酸含量在 NaHCO_3 浓度为 0.10 mol/L 处达到较大值,分别为 $2.05 \mu\text{g/L}$ 和 $1.39 \mu\text{g/L}$,且均显著高于同一 NaHCO_3 浓度下的其他处理 ($P < 0.05$);当 NaCl 为 0.20 mol/L 时,游离氨基酸含量在 NaHCO_3 浓度为 0.05 mol/L 和 0.20 mol/L 时无显著差异 ($P > 0.05$); NaCl 为 0.10 mol/L 时少花蒺藜草叶片游离氨基酸含量均显著高于 CK 和 NaCl 为 0.20 mol/L 时游离氨基酸含量 ($P < 0.05$) (图6)。

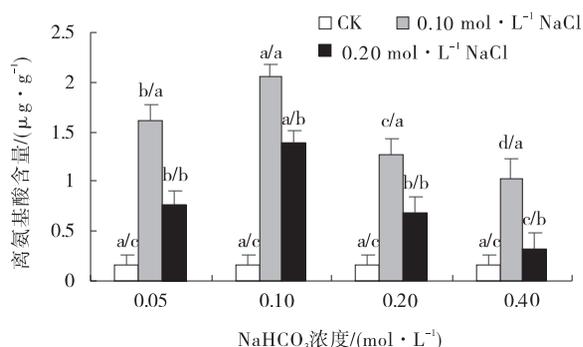


图6 不同处理下少花蒺藜草游离氨基酸含量

Fig. 6 Free amino acid content of *C. incertus* seedlings under different treatments

2.2.7 盐碱胁迫对少花蒺藜草幼苗脯氨酸含量的影响 混合盐碱胁迫下,当 NaCl 浓度相同时,少花蒺藜草叶片脯氨酸含量随 NaHCO_3 浓度增加呈先升高后降

低的趋势,当 NaCl 为 0.10 mol/L 时,脯氨酸含量在 NaHCO_3 浓度为 0.10 mol/L 处达最大值 0.43 mg/g ,与 NaHCO_3 浓度为 0.20 mol/L 时脯氨酸含量无显著差异 ($P > 0.05$),二者显著高于 NaHCO_3 浓度为 0.05 mol/L 、 0.40 mol/L 时脯氨酸含量 ($P < 0.05$);当 NaCl 为 0.20 mol/L 时,脯氨酸含量在 NaHCO_3 浓度为 0.10 mol/L 处达到最大值,显著高于 NaHCO_3 浓度为 0.05 mol/L 、 0.20 mol/L 、 0.40 mol/L 时的脯氨酸含量 ($P < 0.05$);当 NaHCO_3 浓度相同时, NaCl 为 0.10 mol/L 处理下的少花蒺藜草叶片脯氨酸含量均显著高于 CK 和 NaCl 为 0.20 mol/L 时脯氨酸含量 ($P < 0.05$) (图7)。

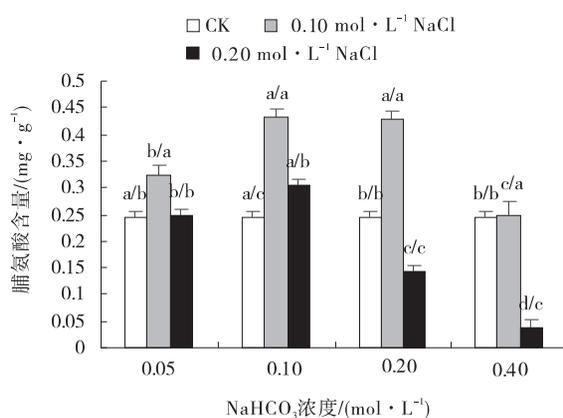


图7 不同处理下少花蒺藜草脯氨酸含量

Fig. 7 Proline content of *C. incertus* seedlings under different treatments

2.2.8 NaCl 、 NaHCO_3 及其互作对少花蒺藜草幼苗生理指标的影响 NaCl 与 NaHCO_3 除对少花蒺藜草叶片 CAT 活性没有显著的交互作用 ($P > 0.05$) 外,对少花蒺藜草其他抗氧化酶活性及渗透调节物质含量均有显著的交互作用 ($P < 0.05$),且 NaCl 与 NaHCO_3 均显著影响少花蒺藜草叶片生理特性 ($P < 0.05$) (表4)。

3 讨论

3.1 盐碱胁迫对少花蒺藜草种子萌发的影响

通过研究盐胁迫下种子的萌发特性可以推测种子潜在的耐盐性,分析萌发期耐盐性大小及其机制,这是植物耐盐性早期鉴定及引种可行性分析的基础^[14]。本研究发现,少花蒺藜草种子的发芽率,发芽势及发芽指数随着盐浓度的增高总体均呈现降低的趋势,但在低浓度盐胁迫 (NaCl 0.10 mol/L ,

表4 NaCl和NaHCO₃对少花蒺藜草幼苗生理指标影响的二因素方差分析
Table 4 Effects of NaCl and NaHCO₃ on physiological indexes of *C. incertus* seedlings:
a two-factor analysis of variance

生理指标	NaCl			NaHCO ₃			NaCl × NaHCO ₃		
	df	F	P	df	F	P	df	F	P
CAT 活性	1	49.134	0.000	3	21.202	0.000	3	0.733	0.547
SOD 活性	1	36.43	0.000	3	12.919	0.000	3	7.378	0.003
POD 活性	1	119.749	0.000	3	42.723	0.000	3	10.483	0.000
可溶性蛋白含量	1	4 210.581	0.000	3	1 990.498	0.000	3	1 372.104	0.000
可溶性糖含量	1	42 4267.8	0.000	3	170 836.2	0.000	3	30 313.39	0.000
游离氨基酸含量	1	607.425	0.000	3	243.689	0.000	3	3.926	0.028
脯氨酸含量	1	149.883	0.000	3	63.656	0.000	3	15.94	0.000

NaHCO₃ 0.05 mol/L)下仍有较高的发芽率及发芽势。说明少花蒺藜草种子对低浓度盐具有一定的耐受性,其原因可能是低浓度盐会激发少花蒺藜草种子内某种物质来抵抗胁迫^[15],可以保障少花蒺藜草正常萌发,这也可能是少花蒺藜草在科尔沁沙地盐碱地边缘地带出现的原因之一。

当 NaCl 浓度为 0.20 mol/L、NaHCO₃ 浓度为 0.20 mol/L,NaCl 浓度为 0.20 mol/L、NaHCO₃ 浓度为 0.40 mol/L 时,种子发芽率为 0,可能是由于过高浓度的盐胁迫会破坏种子内部细胞的结构或降低某些物质的活性^[16],造成种子无法萌发。类似的结果在醉马草、夏枯草种子、狗牙根萌发中也有出现^[5,17-18]。

本试验中,盐碱互作对少花蒺藜草种子的萌发有显著性影响($P < 0.05$),其原因是中性盐主要是 Na⁺ 起主导作用,碱性盐既增加了溶液中 Na⁺ 浓度又增加了 pH 值,即盐碱胁迫有协同作用,造成少花蒺藜草种子无法正常萌发,这一结果与朱毅等^[19]对柳枝稷种子萌发的研究结论相似。

3.2 盐碱胁迫对少花蒺藜草幼苗抗氧化酶活性的影响

植物的抗氧化系统是植物自身在逆境条件下应对膜脂过氧化伤害的重要机制,抗氧化酶中的 SOD、POD 和 CAT 等作为植物体内的活性氧(ROS)清除剂,可协同作用,SOD 为超氧根阴离子 O₂⁻ 清除剂,POD 和 CAT 可降解和清除多余的 H₂O₂ 等活性氧^[20],抑制的 OH⁻、O₂⁻ 等活性氧自由基的积累,从而保证植物正常的生长代谢^[21-22]。本研究中,随着盐浓度不断增加,少花蒺藜草体内的抗氧化酶 SOD、POD 及 CAT 则呈现出先不断上升后又显著下降的趋势,其原

因可能是低盐胁迫下少花蒺藜草幼苗 ROS 增加,激发了 SOD、POD 及 CAT 活性,催化 O₂⁻ 生成 H₂O,从而减轻盐分对幼苗的伤害^[23]。当盐浓度升高时,少花蒺藜草幼苗体内 CAT 活性大幅增加,可能的原因是少花蒺藜草主要依靠提高 CAT 的活性来降解多余的 ROS 等活性氧,当盐浓度过高时,少花蒺藜草幼苗体内自由基含量超出植株所能承受的范围,幼苗无法通过增加抗氧化酶活性来保护自身不受伤害,最终导致幼苗萎蔫甚至死亡,这与侯文静等^[24]对鹰嘴紫云英以及贾茵等^[21]对小报春的生理特性的研究结果一致。

3.3 到盐碱胁迫对少花蒺藜草幼苗渗透调节物质的影响

渗透调节物质含量的增加是植物应对逆境胁迫的重要生理反应^[25]。本研究中当 NaCl 浓度相同时,少花蒺藜草幼苗叶片中的渗透调节物质随着 NaHCO₃ 浓度的增加而显著提高后又急剧降低,说明在低浓度盐胁迫下,少花蒺藜草幼苗会通过增加体内渗透调节物质来调节渗透压,增强抗逆性^[26],当盐浓度过高时,少花蒺藜草植株细胞受损,渗透调节物质含量显著下降^[27],无法通过增加渗透调节物质含量来维持细胞正常代谢功能;脯氨酸含量是反映植物抗逆性的重要指标之一^[28],本试验中,除浓度较高的两处理(NaCl 浓度为 0.20 mol/L、NaHCO₃ 浓度为 0.20 mol/L,NaCl 浓度为 0.20 mol/L、NaHCO₃ 浓度为 0.40 mol/L)外,其他处理的脯氨酸含量均保持在较高水平,说明少花蒺藜草具有一定的耐盐性;可溶性糖既可以作为渗透调节物质来参与细胞代谢,又可以作为能源物质在植物逆境生长中提供能量^[20],少花蒺藜草体内较高的可溶性糖含量也是其具有较强耐盐性的重要原因之一。

这也是近年来少花蒺藜草在科尔沁沙地以及辽河平原部分盐碱化土地上出现的原因之一。

本试验中混合盐碱溶液pH值均在8.5左右,说明造成少花蒺藜草无法正常生长的主要原因并非较高的pH值,可能是由于过量的盐碱离子(Na^+ 、 Cl^- 、 HCO_3^-)被植物吸收并积累在体内,破坏膜的完整性,增加了电解质的渗出率而引发细胞代谢紊乱,从而抑制植物的正常生长^[29],这与陆艳等^[30]对NaCl胁迫下菊芋的生理特性研究结果一致。

4 结论

盐碱胁迫显著抑制了少花蒺藜草种子的萌发,在低浓度下(NaCl浓度为0.10 mol/L, NaHCO_3 浓度为0.05 mol/L),少花蒺藜草种子仍有着较高的发芽率和发芽势,当 NaHCO_3 浓度为0.20 mol/L和0.40 mol/L时,相对盐害率均超过了95%,种子无法正常萌发幼苗的生长;少花蒺藜草幼苗通过增加渗透调节物质含量抵御盐害,同时提高叶片中的CAT、SOD和POD活性,减少膜质过氧化反应,有利于少花蒺藜草幼苗的生长发育,过高浓度的盐碱胁迫会显著破坏花蒺藜草幼苗的抗氧化酶系统,严重抑制少花蒺藜草幼苗的生理生长。因此,少花蒺藜草向盐碱浓度过高的盐渍化区域内部入侵的概率较小,但其在科尔沁沙地盐碱地边缘地带仍有可能正常生长,引发次生的生态问题,更应注重盐碱地边缘地带以及盐碱化程度低的区域的防护。

参考文献:

- [1] 李晗溪,黄雪娜,李世国,等. 基于环境DNA—宏条形码技术的水生生态系统入侵生物的早期监测与预警[J]. 生物多样性,2019,27(5):491—504.
- [2] 周立业,张玉霞,杨秀梅,等. 科尔沁沙地典型人工固沙林群落中少花蒺藜草入侵地土壤特性[J]. 草地学报,2014,22(6):1381—1384.
- [3] 孙忠林,淑琴,高凯,等. 少花蒺藜草入侵现状、适应机制和防控策略[J]. 草地学报,2020,28(5):1196—1202.
- [4] Sorkheh K, Shiran B, Rouhi V, et al. Salt stress induction of some key antioxidant enzymes and metabolites in eight Iranian wild almond species, *Acta Physiologiae Plantarum*, 2012,34(1):203—213
- [5] 陈雅琦,苏楷淇,陈泰祥,等. 混合盐碱胁迫对醉马草种子萌发及幼苗生理特性的影响[J]. 草业学报,2021,30(3):137—157.
- [6] 郑译儒,赵俊超,龚束芳,等. NaHCO_3 和 Na_2CO_3 胁迫对碱茅和披碱草种子萌发、幼苗生长和生理指标的影响[J]. 中国科学院大学学报,2021,38(2):228—239.
- [7] 潘平新,倪强,马瑞,等. 不同盐分处理对黑果枸杞种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 草地学报,2021,29(2):342—348.
- [8] 雷强,郑根昌,石立媛,等. NaCl和PEG胁迫对少花蒺藜草种子萌发的影响[J]. 内蒙古民族大学学报(自然科学版),2016,31(6):492—496.
- [9] 周道玮,田雨,王敏玲,等. 覆沙改良科尔沁沙地—松辽平原交错区盐碱地与造田技术研究[J]. 自然资源学报,2011,26(6):910—918.
- [10] 王慧慧,刘琪华,王婧,等. 4个匍匐翦股颖品种种子萌发期耐盐性评价[J]. 草原与草坪,2019,39(5):31—36.
- [11] 刘文瑜,杨宏伟,魏小红,等. 外源NO调控盐胁迫下蒺藜苜蓿种子萌发生理特性及抗氧化酶的研究[J]. 草业学报,2015,24(2):85—95.
- [12] 卢艳敏. 不同盐胁迫对高羊茅种子萌发的影响[J]. 草业科学,2012,29(7):1088—1093.
- [13] 张志良. 植物生理学实验指导[M]. 北京:高等教育出版社,2003.
- [14] 伍德,孙帅,刘金平,等. NaCl胁迫对长江2号多花黑麦草种子发芽及幼苗生长的影响[J]. 草原与草坪,2017,37(5):59—63.
- [15] 王俭珍,刘倩,高娅妮,等. 植物对盐碱胁迫的响应机制研究进展[J]. 生态学报,2017,37(16):5565—5577.
- [16] 张利霞,常青山,侯小改,等. 不同钠盐胁迫对夏枯草种子萌发特性的影响[J]. 草业学报,2015,24(3):177—186.
- [17] 王俭珍,刘倩,高娅妮,等. 植物对盐碱胁迫的响应机制研究进展[J]. 生态学报,2017,37(16):5565—5577.
- [18] 王太亮,韩兆胜,庞妙甜,等. NaCl胁迫对狗牙根生理生化特性的影响[J]. 草原与草坪,2015,35(1):63—67.
- [19] 朱毅,范希峰,刘吉利,等. 盐胁迫对柳枝稷种子萌发的影响[J]. 中国草地学报,2014,36(4):38—43+71.
- [20] 王芳,王淇,赵曦阳. 低温胁迫下植物的表型及生理响应机制研究进展[J]. 分子植物育种,2019,17(15):5144—5153.
- [21] 贾茵,向元芬,王琳璐,等. 盐胁迫对小报春生长及生理特性的影响[J]. 草业学报,2020,29(10):119—128.
- [22] 赵颖,魏小红,赫亚龙,等. 混合盐碱胁迫对藜麦种子萌

- 发和幼苗抗氧化特性的影响[J]. 草业学报, 2019, 28(2):156-167.
- [23] 刘建新,王金成,贾海燕. 燕麦幼苗对盐胁迫和碱胁迫的生理响应差异[J]. 水土保持学报, 2015, 29(5):331-336.
- [24] 侯文静,马祥,张志莹,等. 混合盐碱胁迫对鹰嘴紫云英种子萌发及幼苗生理特性的影响[J]. 草原与草坪, 2020, 40(3):90-98.
- [25] 马金宝,张永莉,田迅,等. 科尔沁沙地少花蒺藜草不同生育时期生理适应性的研究[J]. 草原与草坪, 2020, 40(6):52-57+64.
- [26] 徐智敏,何宝燕,李取生,等. 盐分胁迫下两个苜蓿品种对镉及主要渗透调节物质累积的差异[J]. 生态学杂志, 2015, 34(2):483-490.
- [27] 胡涛,张鸽香,郑福超,等. 植物盐胁迫响应的研究进展[J]. 分子植物育种, 2018, 16(9):3006-3015.
- [28] 潘晶,黄翠华,罗君等. 盐胁迫对植物的影响及AMF提高植物耐盐性的机制[J]. 地球科学进展, 2018, 33(4):361-372.
- [29] 方怡然,薛立. 盐胁迫对植物叶绿素荧光影响的研究进展[J]. 生态科学, 2019, 38(3):225-234.
- [30] 陆艳,叶慧君,耿守保,等. NaCl胁迫对菊芋幼苗生长和叶片光合作用参数以及体内离子分布的影响[J]. 植物资源与环境学报, 2010, 19(2):86-91.

Effects of saline-alkali stress on seed germination and seedling physiological characteristics of *Cenchrus incertus*

YAN Meng, HAN Su-lei, BAO Jin-lian, ZHOU Li-ye

(College of Agriculture, Inner Mongolia Minzu University, Tongliao 028000, China)

Abstract: *Cenchrus incertus* is one of the most serious invasive weeds in Horqin Sandy Land. In recent years, the seeds and seedlings of *C. incertus* were distributed sporadically in salinized areas. In order to understand the salt tolerance and adaptation mechanism of *C. incertus*, two concentrations of NaCl and four concentrations of NaHCO₃ were used to simulate 8 kinds of mixed salt to treat the seeds and seedlings of *C. incertus*. The germination of seeds was observed and the physiological indexes of seedlings after salt stress were measured. The results showed that all the mixed salts decreased the germination rate, germination energy and germination index of seeds. When NaCl concentration was 0.20 mol/L, NaHCO₃ concentration was 0.20 mol/L, NaCl concentration was 0.20 mol/L, or NaHCO₃ concentration was 0.40 mol/L, germination index was 0. Under low concentration saline-alkali stress, *C. incertus* could enhance its salt tolerance by increasing the activity of antioxidant enzymes and the content of osmotic regulators. When the mixed salt NaCl was 0.10 mol/L and NaHCO₃ was 0.20 mol/L, the physiological indexes of *C. incertus* leaves reached the maximum. When the concentrations of NaCl and NaHCO₃ were both 0.20 mol/L, *C. incertus* could not grow normally. The interaction between NaCl and NaHCO₃ had significant effects on seed germination and seedling physiological characteristics (except CAT activity) of *C. incertus*.

Key words: *Cenchrus incertus*; mixed salt stress; germination; physiological characteristics