

## 3种白刺耐盐性的对比分析

倪建伟, 武香, 张华新\*, 刘涛, 张丽

(林木遗传育种国家重点实验室, 中国林业科学研究院林业研究所, 北京 100091)

**摘要:**以2年生西伯利亚白刺、齿叶白刺和唐古特白刺苗为材料, 设置0、100、200、300、400 mmol·L<sup>-1</sup>NaCl 5种盐浓度开展胁迫试验, 测定并对比分析其对盐胁迫的生长及生理生化响应。结果表明:低盐浓度处理促使白刺生长速度和生物量增加、叶绿素含量增高, 高盐浓度处理下这种促进作用降低; 在100 mmol·L<sup>-1</sup>的盐处理下, 唐古特白刺、西伯利亚白刺、齿叶白刺叶绿素含量均达最高, 分别为0.72、0.78、0.61 mg·g<sup>-1</sup>; 在400 mmol·L<sup>-1</sup>的盐处理下, 唐古特白刺、西伯利亚白刺、齿叶白刺生物量为最低, 分别为10.49、12.42、10.19 g·株<sup>-1</sup>, 仅为对照的75%~79%; 3种白刺中, 唐古特白刺的Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>最高, 施盐处理下西伯利亚白刺的Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>均高于对照, 而齿叶白刺则低于对照; 随着盐浓度的增加, 3种白刺叶片中可溶性蛋白的含量递增, 可溶性糖含量则先增后减; 低盐浓度处理的唐古特和西伯利亚白刺叶片中MDA含量比对照低, 齿叶白刺却比对照高; 3种白刺的POD和SOD活性在盐处理下高于对照, 其中唐古特白刺叶片中POD活性最低, 齿叶白刺中SOD活性最高; 3种白刺在盐胁迫下均能正常生长。

**关键词:**白刺; 盐生植物; 盐胁迫; 耐盐机理; 对比分析

中图分类号: S722.3+6

文献标识码: A

## Comparative Analysis of Salt Tolerance of Three *Nitraria* Species

NI Jian-wei, WU Xiang, ZHANG Hua-xin, LIU Tao, ZHANG Li

(State Key Laboratory of Tree Genetics and Breeding, Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

**Abstract:** In this study, two-year-old *Nitraria sibirica* Pall., *N. tangutorum* Bobr. and *N. roborowskii* Kom. were used as plant material. Treated by five salt concentrations (0, 100, 200, 300 and 400 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl), the physiological and biochemical responses of these species under different salt stress were compared and analyzed. The results showed that low salt concentration promoted the growth of *Nitraria* and increased the biomass and chlorophyll content while decreased at high concentration. The chlorophyll contents of *N. tangutorum*, *N. sibirica* and *N. roborowskii* were the highest at 100 mmol·L<sup>-1</sup> salt concentration, which were respectively 0.72, 0.78, and 0.61 mg·g<sup>-1</sup>; The biomass of *N. tangutorum*, *N. sibirica* and *N. roborowskii* were the lowest at 400 mmol·L<sup>-1</sup> salt concentration, which were respectively 10.49, 12.42, and 10.19 g; Under salt stress, the maximum content of Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup> was found in *N. tangutorum*. The Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup> contents of *N. sibirica* were higher than the CK group, while that of *N. roborowskii* was lower than the CK group. With the salt concentration increased, the content of soluble sugar increased at initial and then decreased, and the soluble protein of all the three *Nitraria* species increased. In the low salt concentration, the MDA was higher than the CK group in the *N. tangutorum* and *N. sibirica*, while the *N. roborowskii* was the opposite. The activity of POD and SOD were higher under salt environment, the *N. tangutorum* had lowest POD activity while the *N. roborowskii* had the highest SOD activity. Three *Nitraria* species can ma-

收稿日期: 2011-04-18

基金项目: 林业科技支撑计划专题“滨海盐碱地优良抗逆性植物材料选育技术研究(2009BADB2B0103)”;“渤海湾盐碱地防护林体系高效配置与土壤生物改良技术研究(2009BADB2B0501)”

作者简介: 倪建伟(1986—), 男, 河北任县人, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 林木遗传育种。

\* 通讯作者: 张华新, 研究员, 博士生导师. 主要研究方向: 林木遗传育种。

intan normal growth in saline environment.

**Key words:** *Nitraria*; salt stress; halophytes; salt-tolerance mechanisms; comparison; analysis

我国土壤盐渍化面积较大,约占总耕地面积的10%<sup>[1]</sup>。盐碱化的土壤不适合绝大多数植物生长,通过工程措施直接对土壤进行改良不仅投入成本高,效果难以长久保持,而通过选育适合当地生长的、具有经济开发价值的耐盐植物对盐碱化土地进行改良,可以持久有效地改善土壤,提高土地利用效率<sup>[2]</sup>。

白刺是具有多分枝、耐盐碱、耐干旱等特性的低矮灌木。在我国沙漠及沿海地区广为存在<sup>[3]</sup>,自然生长于盐渍化坡梗高地、荒漠地区及泥质海滩丘垄型裸地上,耐盐能力极强,能够有效改善土壤肥力,为其他植物群落创造良好生存条件,是荒漠、半荒漠和盐碱地的重要建群种<sup>[4-5]</sup>。白刺资源的开发利用逐渐受到重视,如高航等<sup>[6]</sup>、王洪伦等<sup>[7]</sup>、白明生等<sup>[8]</sup>研究了白刺果实和枝叶中含有的氨基酸、黄酮类物质和生物碱等活性成分,鲁长征等<sup>[9]</sup>、刘松涛<sup>[10]</sup>利用白刺果实研制出了白刺酒和白刺饮料。在以往的研究中,一些学者研究了白刺的耐盐性,如王秀娟等<sup>[11]</sup>、张胜景等<sup>[12]</sup>对西伯利亚白刺在盐胁迫下的各种生理反应和耐盐性进行了初步研究;吴春荣等<sup>[13]</sup>比较了不同白刺种在盐胁迫下的生长量;闫永庆等<sup>[14]</sup>研究了白刺对不同浓度混合盐碱胁迫的不同生理响应;然而有关不同白刺种在盐胁迫下生长以及生理生化反应的综合对比分析尚未见报道。本研究综合利用前人常用的耐盐性指标<sup>[15-17]</sup>,测定、对比分析了唐古特白刺、西伯利亚白刺和齿叶白刺在5种不同盐胁迫程度下的生长和生理生化指标,以期探明这3种白刺各自的耐盐特性,为今后筛选和培育耐盐性优良的白刺品种提供依据,对开发白刺资源和利用植物改良盐碱地打下基础<sup>[18-19]</sup>。

## 1 试验材料与方法

### 1.1 材料培养及盐胁迫处理

供试白刺为唐古特白刺(*Nitraria tangutorum* Bobr.)、西伯利亚白刺(*N. sibirica* Pall.)和齿叶白刺(*N. roborowskii* Kom.),均为产自吉林白城的2年生苗。

将3种白刺种植在30 cm × 30 cm的塑料盆中(底带托盘),按照1:3:1的体积比例混合腐殖质土、草炭、珍珠岩做基质,并用多菌灵进行消毒处理,每

盆装(5 000 ± 50) g混合基质。定期定量浇水、施肥培养,2个月后选择长势一致的白刺(实测高度为(40 ± 5) cm)做试验样本。

试验采用完全随机区组设计,设置0(对照)、100、200、300、400 mmol · L<sup>-1</sup>的5个NaCl浓度梯度<sup>[20]</sup>,对3种白刺分别进行盐胁迫处理,每个处理3次重复,每个重复6株白刺,采取分次浇灌的方法施盐,除对照外,分别浇灌相应浓度的盐溶液,对照浇灌相同体积的清水,每3天浇灌1次,每次浇500 mL盐溶液,共浇4次,土壤最终含盐量分别为:0, 2.34‰, 4.68‰, 7.02‰, 9.36‰。之后保持土壤湿度并定期定量浇水,如果水漏入托盘则把水倒回并冲洗托盘,洗液一并倒入塑料盆以防止盐分的淋融流失,培养45 d后待测。

### 1.2 测定方法

每个小区随机选取长势良好的3株植株,测定胁迫处理前和处理45 d后的植株高度,于处理45 d后收获植株,分单株根、茎、叶放入105 °C的烘箱中杀青1 h,然后70 °C烘至恒质量,测定植株生物量;采集每株上的完全展开的功能叶片,每个小区取1个混合样,放置-70 °C以下的超低温冰箱保存待用。

#### 1.2.1 形态生长类指标的测定

(1)生长速度的计算:生长速度 = (处理后植株株高 - 处理前植株株高) / 生长天数;

(2)生物量的测定,即盐处理和对照组中各植株的干质量;

(3)根冠比的计算:根冠比 = 植物地下部分干质量 / 植株地上部分干质量;

1.2.2 叶绿素含量的测定 取新鲜叶片剪碎,加入丙酮,放置黑暗处浸提24 h,利用分光光度计法测定<sup>[21]</sup>。

#### 1.2.3 渗透调节类指标的测定

(1)叶片中Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>采用原子吸收分光光度计法测定<sup>[22]</sup>;

(2)可溶性蛋白含量用考马斯亮蓝染色法测定<sup>[23]</sup>;

(3)可溶性糖含量用蒽酮比色法测定<sup>[23]</sup>;

(4)脯氨酸含量用茚三酮比色法测定<sup>[23]</sup>。

#### 1.2.4 膜酶系统类指标的测定

(1)丙二醛(MDA)含量用硫代巴比妥酸比色法

测定<sup>[24]</sup>;

(2) 过氧化物酶(POD)含量用磷酸愈创木酚法测定<sup>[24]</sup>;

(3) 超氧化物歧化酶(SOD)含量用氮蓝四唑法测定<sup>[24]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 形态生长指标的对比分析

由表1可知:3种白刺的生长速度和生物量在盐浓度为100 mmol·L<sup>-1</sup>的处理最高,明显高于对照,但之后随着盐浓度的增加而降低,且2项指标均低于对照。齿叶白刺的生长速度变化幅度比其他2种白刺大,在100 mmol·L<sup>-1</sup>盐浓度处理下生长速度为0.27 cm·d<sup>-1</sup>,而400 mmol·L<sup>-1</sup>处理的生长速度仅为0.13 cm·d<sup>-1</sup>。3种白刺的生物量总体呈下降趋势,在盐浓度为100 mmol·L<sup>-1</sup>时略有增高,而盐浓度达到300 mmol·L<sup>-1</sup>之后生物量显著低于对照,盐浓度为400 mmol·L<sup>-1</sup>时最低,唐古特白刺、西伯利亚白刺、齿叶白刺的生物量分别为10.49、12.42、10.19 g·株<sup>-1</sup>,仅为对照的75%~79%。

表1 不同盐浓度处理下3种白刺的生长对比

植物	盐浓度/ (mmol·L <sup>-1</sup> )	生长速度/ (cm·d <sup>-1</sup> )	生物量/(g·株 <sup>-1</sup> )	根冠比
唐古特白刺	0	0.22 ± 0.026b	13.70 ± 1.28a	0.37 ± 0.016a
	100	0.26 ± 0.023a	14.33 ± 1.13a	0.37 ± 0.028a
	200	0.21 ± 0.022b	12.68 ± 0.14ab	0.32 ± 0.033ab
	300	0.18 ± 0.021c	11.80 ± 0.48b	0.33 ± 0.027ab
	400	0.14 ± 0.025d	10.49 ± 1.11b	0.31 ± 0.031b
西伯利亚白刺	0	0.21 ± 0.020b	16.04 ± 1.01a	0.34 ± 0.054a
	100	0.27 ± 0.044a	16.93 ± 1.97a	0.34 ± 0.043a
	200	0.21 ± 0.021b	16.09 ± 1.67a	0.32 ± 0.026a
	300	0.16 ± 0.022c	13.65 ± 0.17b	0.30 ± 0.101a
	400	0.15 ± 0.022c	12.42 ± 0.64b	0.30 ± 0.018a
齿叶白刺	0	0.20 ± 0.031b	13.50 ± 0.44a	0.39 ± 0.020a
	100	0.27 ± 0.032a	14.25 ± 0.47a	0.38 ± 0.046a
	200	0.19 ± 0.022a	11.59 ± 0.70b	0.39 ± 0.034a
	300	0.15 ± 0.022c	11.09 ± 0.57b	0.42 ± 0.015a
	400	0.13 ± 0.055c	10.19 ± 0.31c	0.44 ± 0.084a

注:同列数据后字母相同表示差异不显著,不同则表示差异显著,下同。

对照的唐古特白刺和西伯利亚白刺根冠比高于施盐组,且盐浓度越高,比值越低;而齿叶白刺在盐浓度超过200 mmol·L<sup>-1</sup>时,根冠比高于对照组,且

盐浓度越高,比值越高。盐浓度为400 mmol·L<sup>-1</sup>时唐古特白刺的根冠比为0.31,显著低于无盐对照和低盐胁迫处理。

### 2.2 叶绿素指标的对比分析

由图1可知:盐处理的3种白刺的叶绿素含量均显著高于对照( $P < 0.05$ ),盐浓度为100 mmol·L<sup>-1</sup>时含量最高,唐古特白刺、西伯利亚白刺、齿叶白刺叶绿素含量为0.72、0.78、0.61 mg·g<sup>-1</sup>,较对照分别增加了44%、24%和22%;随着盐浓度的进一步增加,叶绿素含量呈下降趋势。盐浓度为100、400 mmol·L<sup>-1</sup>时,唐古特白刺、齿叶白刺和西伯利亚白刺的叶绿素含量分别降低了26.3%、6.6%和6.4%;说明唐古特白刺的叶绿素对盐胁迫更敏感。

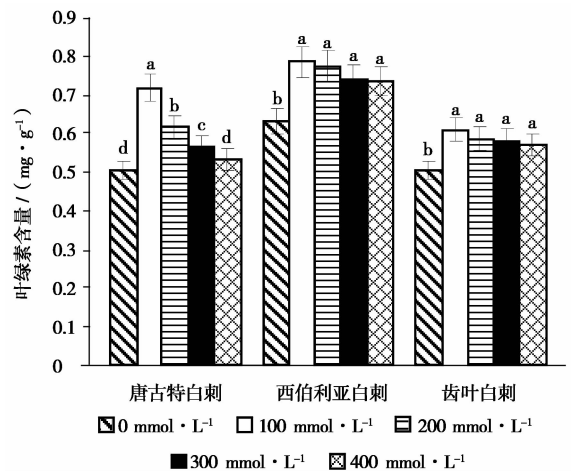


图1 不同盐浓度处理下3种白刺叶绿素含量的比较

### 2.3 渗透调节类指标对比分析

由表2可知:唐古特白刺和西伯利亚白刺随盐胁迫浓度的增加 Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup> 呈先增加后减少的趋势,在盐浓度为300、200 mmol·L<sup>-1</sup>时达最大值,分别为3.56和3.16,而齿叶白刺 Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup> 则整体上呈下降趋势,在盐浓度为100、400 mmol·L<sup>-1</sup>时最低,均为2.11。西伯利亚白刺的 Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup> 含量在各盐浓度处理下均显著高于对照;唐古特白刺 Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup> 随盐浓度的增加而增加,但在盐浓度为400 mmol·L<sup>-1</sup>时却明显下降,低于对照;齿叶白刺对照的 Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup> 最高。说明不同种的白刺对 Na<sup>+</sup> 的吸收随着环境中的 Na<sup>+</sup> 浓度的增加而相应增加;而在较高盐浓度时则会促进对 K<sup>+</sup> 的吸收,从而降低 Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup> 值,西伯利亚白刺对这种现象表现得最为明显。

表2 不同盐浓度处理下3种白刺渗透调节指标的比较

植物	盐浓度/(mmol·L <sup>-1</sup> )	Na <sup>+</sup> /K <sup>+</sup>	可溶性蛋白/(mg·g <sup>-1</sup> )	可溶性糖/(mg·g <sup>-1</sup> )	脯氨酸/(μg·g <sup>-1</sup> )
唐古特白刺	0	3.01 ± 0.18bc	4.24 ± 0.55c	28.57 ± 0.65b	119.36 ± 48.96b
	100	3.33 ± 0.23ab	5.46 ± 0.37b	34.59 ± 1.65a	154.40 ± 15.58ab
	200	3.39 ± 0.20a	7.65 ± 0.15a	27.65 ± 3.29b	188.81 ± 23.34a
	300	3.56 ± 0.21a	8.00 ± 0.62a	29.90 ± 2.62b	212.13 ± 30.80a
	400	2.71 ± 0.04c	8.27 ± 0.24a	28.57 ± 0.33b	217.82 ± 22.24a
西伯利亚白刺	0	1.95 ± 0.86c	6.22 ± 0.69b	19.31 ± 0.67b	154.49 ± 13.24b
	100	2.50 ± 0.15b	6.66 ± 0.37b	25.75 ± 3.32a	190.90 ± 14.99a
	200	3.16 ± 0.38a	7.77 ± 0.31a	28.17 ± 1.27a	213.84 ± 19.89a
	300	2.59 ± 0.02b	8.34 ± 0.39a	21.21 ± 1.03b	207.62 ± 20.55a
	400	2.61 ± 0.09b	8.39 ± 0.16a	21.58 ± 2.49b	224.72 ± 23.70a
齿叶白刺	0	2.94 ± 0.23a	4.97 ± 1.77a	22.22 ± 0.88c	208.95 ± 29.12a
	100	2.11 ± 0.12c	6.27 ± 1.87a	24.61 ± 0.68c	217.06 ± 17.16a
	200	2.77 ± 0.12a	8.31 ± 1.46a	35.84 ± 3.13a	218.69 ± 35.20a
	300	2.47 ± 0.02b	6.55 ± 1.15a	29.56 ± 2.40b	200.00 ± 17.96a
	400	2.11 ± 0.09c	6.57 ± 0.75a	29.19 ± 2.49b	216.85 ± 25.81a

唐古特白刺和西伯利亚白刺叶片中的可溶性蛋白含量,随着盐浓度的增加而增加,400 mmol·L<sup>-1</sup>处理的最高,分别为8.27、8.39 mg·g<sup>-1</sup>,分别比对照高95.3%和34.8%;齿叶白刺在各处理间差异不显著( $P > 0.05$ )。3种白刺叶片的可溶性糖含量差异显著,且西伯利亚白刺和齿叶白刺在盐浓度200 mmol·L<sup>-1</sup>的处理最大,为28.17、35.84 mg·g<sup>-1</sup>,分别比对照增长了45.9%和61.3%,而唐古特白刺在100 mmol·L<sup>-1</sup>的盐浓度处理下可溶性糖含量最高,比对照高出21.1%。在低浓度盐处理下,可溶性糖含量较高的为唐古特白刺,高盐浓度处理下西伯利亚白刺叶片中可溶性糖含量明显低于唐古特白刺和齿叶白刺。

唐古特白刺和西伯利亚白刺中脯氨酸的含量在施盐处理下均高于对照组,西伯利亚白刺叶片中的脯氨酸含量均随盐浓度的增加而增加;当盐浓度达400 mmol·L<sup>-1</sup>时,唐古特白刺和西伯利亚白刺叶片脯氨酸含量显著高于对照,分别为217.82和224.72 μg·g<sup>-1</sup>,分别较对照高82.5%和45.5%;而齿叶白刺则差异不显著。

#### 2.4 膜酶系统类指标对比分析

由表3可知:在盐浓度为100 mmol·L<sup>-1</sup>的处理下,唐古特白刺和西伯利亚白刺叶片中的MDA含量均显著低于对照,分别为对照的66%和80%,此后随着盐浓度的增加呈递增趋势;齿叶白刺叶片中的MDA含量在盐胁迫下均显著高于对照,在盐浓度300 mmol·L<sup>-1</sup>的处理下达到最高(11.68 nmol·g<sup>-1</sup>),比对照高108%。

表3 不同盐浓度处理下3种白刺膜酶系统指标的比较

植物	盐浓度/(mmol·L <sup>-1</sup> )	丙二醛(MDA)/(nmol·g <sup>-1</sup> )	过氧化物酶POD/(U·g <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	超氧化物歧化酶SOD/(U·g <sup>-1</sup> )
唐古特白刺	0	8.88 ± 0.11a	13.20 ± 1.59c	61.85 ± 3.26c
	100	5.86 ± 0.38c	23.27 ± 2.44b	77.31 ± 7.57a
	200	7.53 ± 0.68b	26.60 ± 6.59b	80.32 ± 5.67a
	300	9.51 ± 0.26a	44.00 ± 2.40a	70.08 ± 5.05ab
	400	9.36 ± 0.44a	27.07 ± 4.32b	72.49 ± 7.71ab
西伯利亚白刺	0	7.87 ± 0.18a	68.93 ± 2.99b	28.30 ± 4.41c
	100	6.33 ± 1.07b	120.47 ± 9.23a	48.73 ± 2.54b
	200	8.79 ± 0.87a	149.80 ± 9.30a	54.09 ± 2.18b
	300	8.53 ± 0.56a	152.40 ± 4.39a	79.42 ± 6.36a
	400	9.18 ± 0.59a	127.80 ± 5.44a	84.46 ± 3.35a
齿叶白刺	0	5.63 ± 0.39c	96.87 ± 9.15d	84.58 ± 3.81d
	100	9.33 ± 0.07b	191.87 ± 7.17a	102.64 ± 3.34a
	200	9.49 ± 1.01b	170.53 ± 4.00b	92.72 ± 6.40bc
	300	11.68 ± 0.51a	113.67 ± 7.40c	85.83 ± 2.76cd
	400	8.38 ± 2.00b	121.80 ± 5.80c	96.23 ± 1.37ab

不同盐浓度处理的3种白刺叶片的POD含量均与对照差异显著。唐古特白刺叶片中的POD明显低于其它2种白刺。3种白刺叶片的POD随盐浓度的增加均呈先升高后下降的趋势。唐古特白刺和西伯利亚白刺在300 mmol·L<sup>-1</sup>时达到最大,分别为44.00、152.40 U·g<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>,分别是对照的333%和221%;齿叶白刺在盐浓度为100 mmol·L<sup>-1</sup>时活性达最大值(191.87 U·g<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>),是对照的198.1%。

不同盐浓度处理的3种白刺的SOD活性均与对照的差异显著。对照叶片中SOD的活性最小,盐胁迫促进了SOD活性的增加,唐古特白刺、西伯利

亚白刺和齿叶白刺分别在盐浓度为 200、400、100  $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  时达最大, 分别为 80.32、84.46、102.64  $\text{U} \cdot \text{g}^{-1}$ 。

### 3 结论与讨论

植株的生长速度和生物量的大小能直观地反映其生长状态, 体现植株的耐盐能力。本研究中, 在盐浓度为 100  $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  时, 3 种白刺的生长速度和生物量均达最大值, 高浓度盐处理反而抑制其生长。叶绿素含量的变化规律与植株生长一致, 亦在 100  $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  盐浓度时达最高。叶绿体是盐胁迫下最敏感的细胞器之一<sup>[25]</sup>, 叶绿素含量可以表示在盐胁迫下光合作用的强弱, 从而可以作为耐盐指标反映对盐胁迫的抗性大小。3 种白刺在低浓度盐胁迫下的叶绿素含量均增加, 盐浓度为 100  $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  时含量最高, 唐古特白刺、西伯利亚白刺、齿叶白刺叶绿素含量分别为 0.72、0.78、0.61  $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ , 高含量的叶绿素能够促进光合作用, 对植物生长有利, 是对盐胁迫的一种积极响应; 在高盐浓度胁迫下叶绿素含量减少, 影响光合性能, 影响植物的生长速度和生物量的增加, 这与陈贵林<sup>[26]</sup> 等对西伯利亚白刺试管苗的研究以及张华新等<sup>[27]</sup> 对 11 种树种的研究结果一致。唐古特白刺和西伯利亚白刺根冠比随盐浓度增加而降低, 齿叶白刺却随盐浓度增加而增加, 说明齿叶白刺在根的生长方面更具耐盐能力。

在盐胁迫条件下, 植物都会受到不同程度的渗透胁迫伤害, 植物通过调节细胞内无机离子、可溶性蛋白、可溶性糖、脯氨酸等调节类物质可缓解其受害程度。本研究中, 随着盐浓度的增加, 齿叶白刺叶片中的  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  呈略微下降趋势, 唐古特白刺和西伯利亚白刺呈先上升后降低的趋势, 这和不同种白刺在盐胁迫下对各离子选择吸收有关, 通过对  $\text{Na}^+$  和  $\text{K}^+$  的选择吸收, 可适度改变在不同盐浓度环境下细胞质中  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  平衡, 减少盐胁迫的损伤程度; 而白刺也正是吸收了环境中的  $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$  从而改良了盐碱地, 同时也适应了在高盐浓度环境下生长。3 种白刺叶片中可溶性蛋白、可溶性糖含量在盐胁迫下均较对照组高, 唐古特白刺和西伯利亚白刺叶片中的可溶性蛋白含量在 400  $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  的处理下达到最高, 为 8.27、8.39  $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ , 西伯利亚白刺和齿叶白刺可溶性糖含量在盐浓度为 200  $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  的处理下达到最大值, 为 28.17、35.84  $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ , 通过渗透调节可适应盐胁迫环境, 同时可溶性糖除做为碳架

和能源外, 对细胞膜和酶类起稳定和保持作用<sup>[28-29]</sup>, 但盐浓度高时相对低盐浓度可溶性糖的增加量减小。脯氨酸亲水性较强, 能够保护细胞膜系统, 维持细胞内酶结构, 降低细胞内蛋白的降解。随盐浓度的增加, 唐古特白刺和西伯利亚白刺叶片中脯氨酸含量明显增加, 这与刘占彬等<sup>[30]</sup> 对高羊茅 (*Festuca arundinacea* Schreb.) 耐盐性的研究结论一致。盐胁迫促使了渗透调节物质的积累, 维持了细胞正常吸水, 从而适应盐胁迫。

在盐胁迫下, 细胞膜透性增加会破坏膜系统, 脂质过氧化作用的产物 MDA 能反应膜受损的情况<sup>[31]</sup>。在盐胁迫下, 3 种白刺 MDA 的含量均发生变化, 表明膜系统的完整性受到不同程度的破坏, 唐古特白刺和西伯利亚白刺叶片中 MDA 含量是先下降后上升, 齿叶白刺叶片中 MDA 含量呈上升趋势。在盐处理下, 3 种白刺叶片中 POD、SOD 活性均高于对照, 西伯利亚白刺和齿叶白刺叶片中 POD 活性明显高于唐古特白刺, 唐古特白刺和西伯利亚白刺在 300  $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  处理下最高, 为 44.00、152.40  $\text{U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ , 齿叶白刺在 100  $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  盐处理下最高, 为 191.87  $\text{U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 。在低盐浓度处理下, 唐古特白刺和齿叶白刺 SOD 活性明显高于西伯利亚白刺, 且齿叶白刺的 SOD 活性最高, 表现稳定。膜系统的修复与 SOD 和 POD 的活性是分不开的, 其活性越高, 清除 MDA 的能力越强, 从而起到保护膜结构的作用<sup>[32]</sup>。白刺细胞在盐胁迫下产生更多的氧自由基, 而利用 SOD 和 POD 可清除氧自由基, 阻止氧化损伤, 这与张恩平等<sup>[33]</sup> 在黄瓜 (*Cucumis sativus* Linn.) 的研究中得到的结论相似。因此可知, 3 种白刺受到盐胁迫时细胞内脂质过氧化增强, MDA 的含量上升, 同时细胞内 POD、SOD 的活性也增加以修复盐胁迫带来的膜损伤, 从而能够维持膜系统的稳定, 抵御盐害。

在盐胁迫下, 植物的响应是一个复杂的生理过程, 不同种类的白刺耐盐方式和机理有所不同, 细胞或组织内的生理代谢和生化反应会有所差异, 导致在不同盐浓度胁迫下各种耐盐指标不完全一致性, 因此宜采用多种指标综合对植物耐盐性进行研究。

### 参考文献:

- [1] 徐恒刚. 中国盐生植被及盐渍化生态[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2004: 66-71
- [2] 李 彬, 王志春, 孙志高, 等. 中国盐碱地资源与可持续利用研究[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(2): 154-158

- [3] 李双福,张启昌,张起超,等. 白刺属植物研究进展[J]. 北华大学学报:自然科学版, 2005, 6(1): 78-81
- [4] 卢树昌,苏卫国. 重盐碱区白刺耐盐性及其利用研究[J]. 天津农学院学报, 2004, 11(4): 30-35
- [5] 马启慧. 耐盐碱植物白刺的开发与利用[J]. 黑龙江农业科学, 2007(5): 116-117
- [6] 高航,索有瑞. 柴达木盆地西伯利亚白刺和唐古特白刺的氨基酸含量及其营养评价[J]. 氨基酸和生物资源, 2002, 24(4): 4-7
- [7] 王洪伦,李玉林,索有瑞. 白刺种子黄酮类化合物最佳提取工艺研究[J]. 食品科学, 2004, 25(7): 97-99
- [8] 白明生,李国旗,陈彦云. 白刺药用有效成分含量的地域性研究[J]. 西北林学院学报, 2008, 23(6): 147-150
- [9] 鲁长征,山永凯,刘洪智. 白刺酒的研究[J]. 酿酒, 2009, 36(1): 83-84
- [10] 刘松涛. 白刺保健饮料的研制[J]. 江苏食品与发酵, 2000(2): 12-14
- [11] 王秀娟,杨会青. 盐碱胁迫下西伯利亚白刺的渗透调节物质的变化[J]. 热带农业科学, 2010, 30(2): 34-36
- [12] 张胜景,杜卫军,王文成. 西伯利亚白刺耐盐性鉴定初步研究[J]. 安徽农学通报, 2006, 12(12): 37-38
- [13] 吴春荣,李亚,张晓琴,等. 不同品种白刺幼苗对盐分胁迫的适应性研究[J]. 甘肃科技, 2009, 25(20): 154-155
- [14] 闫永庆,刘兴亮,王崑,等. 白刺对不同浓度混合盐碱胁迫的生理响应[J]. 植物生态学报, 2010, 34(10): 1213-1219
- [15] 杨升,张华新,张丽. 植物耐盐生理生化指标及耐盐植物筛选综述[J]. 西北林学院学报, 2010, 25(3): 59-65
- [16] Bartels D, Sunkar R. Drought and salt tolerance in plants[J]. Critical reviews in plant sciences, 2005, 24(1): 23-58
- [17] Km V, Y H, H S. Physiological responses of plants to salinity: a review[J]. Canadian journal of plant science, 1998, 78: 19-27
- [18] Zhu J. Plant salt tolerance[J]. Trends in plant science, 2001, 6(2): 66-71
- [19] Zhang J, Xing S, Sun Q. Study on cultural technologies and salt-resistance of *Nitraria sibirica* in coastal areas with serious salt-affected soil[J]. Chinese forestry science and technology, 2004, 3(4): 12-16
- [20] Hussain N, Ali A, Sarwar G, et al. Mechanism of salt tolerance in rice[J]. Pedosphere, 2003, 13(3): 233-238
- [21] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006
- [22] 王宝山,赵可夫. 小麦叶片中Na、K提取方法的比较[J]. 植物生理学通讯, 1995, 31(1): 50-52
- [23] 李合生,孙群,赵世杰. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000
- [24] 郝建军,康宗利,于洋. 植物生理学实验技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007
- [25] Stroganov B P. Structure and function of plant cells in saline habitats[M]. New York: Halsted Press, 1973
- [26] 陈贵林,王晨霞,陈建英. NaCl胁迫对白刺试管苗渗透调节物质及离子含量的影响[J]. 西北植物学报, 2009, 29(6): 1233-1239
- [27] 张华新,宋丹,刘正祥. 盐胁迫下11个树种生理特性及其耐盐性研究[J]. 林业科学研究, 2008, 21(2): 168-175
- [28] Yan X, Zhao F. Effect of moderate salt stress on cells in root tips of barley[J]. Acta agriculture boreali-sinica, 1994, 9(Supplement): 61-64
- [29] 刘占彬,袁庆华,景启美. 9个高羊茅品种苗期耐盐性研究[J]. 中国草地学报, 2007, 29(6): 81-85
- [30] 王爱国,邵从本,罗广林. 丙二醛作为植物脂质过氧化指标的探讨[J]. 植物生理通讯, 1986(2): 55-57
- [31] 马焕成,王沙生. 胡杨膜系统的盐稳定性及盐胁迫下的代谢调节[J]. 西南林学院学报, 1998, 18(1): 16-24
- [32] 张恩平,张淑红,司龙亭,等. NaCl胁迫对黄瓜幼苗子叶膜脂过氧化的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2001, 32(6): 446-448