

# 酸枣的生长及生理特性对盐胁迫的响应

麻云霞<sup>1</sup>, 李钢铁<sup>1</sup>, 张宏武<sup>2</sup>, 蓝登明<sup>1</sup>, 姚庆智<sup>3</sup>, 冯 斐<sup>1</sup>

(1. 内蒙古农业大学 沙漠治理学院, 内蒙古 呼和浩特 010018; 2. 林业科学研究所, 内蒙古 巴彦淖尔 015000; 3. 内蒙古农业大学 生命科学学院, 内蒙古 呼和浩特 010018)

**摘 要:** [目的] 探讨酸枣幼苗对盐胁迫的适应机制及耐性机理, 为盐碱地栽培品种的选择提供参考。[方法] 以 1 年生酸枣幼苗为材料, 采用盆栽控水试验, 研究不同浓度 0(CK), 1.5, 3, 4.5, 6, 7.5 g/L NaCl 处理对酸枣幼苗的生长、叶绿素含量、气体交换参数、抗氧化酶活性等的影响。[结果] ① 当 NaCl 浓度为 0~3 g/L 时, 酸枣的存活率和生长状况影响不大。当 NaCl 浓度 > 3 g/L, 酸枣的存活率显著下降, 尤其在 6~7.5 g/L 的高浓度胁迫下, 其生长受到严重抑制, 3 g/L NaCl 浓度是适生耐盐范围的最大阈值。② 随着盐浓度和胁迫时间的增加, 酸枣幼苗叶片中超氧化物歧化酶(SOD)活性、过氧化物酶(POD)活性、过氧化氢酶(CAT)活性呈先上升后下降的趋势, 丙二醛(MDA)含量和脯氨酸(Pro)含量均为增加的趋势; ③ 光和色素含量呈下降趋势, 净光合速率( $P_n$ )、气孔导度( $G_s$ )以及蒸腾速率( $T_r$ )呈现下降趋势, 而胞间二氧化碳浓度( $C_i$ )呈先下降后上升的趋势, 其  $P_n$  的下降前期是由气孔因素引起, 后期是由非气孔限制因素引起。[结论] 低浓度(<3 g/L) NaCl 胁迫对酸枣的存活率和生长状况影响不大, 但随着浓度的增加, 酸枣幼苗的叶绿素含量、抗氧化酶系统等均受到抑制, 植株的生长发育受到严重影响。

**关键词:** 盐胁迫; 酸枣; 光合生理; 抗氧化酶

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2018)03-0045-08

中图分类号: Q945.79

**文献参数:** 麻云霞, 李钢铁, 张宏武, 等. 酸枣的生长及生理特性对盐胁迫的响应[J]. 水土保持通报, 2018, 38(3): 45-52. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2018.03.008. Ma Yunxia, Li Gangtie, Zhang Hongwu, et al. Response of *Zizyphus jujube* growth and physiological characteristics to salt stress[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018, 38(3): 45-52.

## Response of *Zizyphus Jujube* Growth and Physiological Characteristics to Salt Stress

MA Yunxia<sup>1</sup>, LI Gangtie<sup>1</sup>, ZHANG Hongwu<sup>2</sup>, LAN Dengming<sup>1</sup>, YAO Qingzhi<sup>3</sup>, FENG Fei<sup>1</sup>

(1. College of Desert Science and Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia 010018, China; 2. Research Institute of Forestry, Bayan Nur City, Inner Mongolia 015000, China; 3. College of Life Science, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia 010018, China)

**Abstract:** [Objective] To investigate the adaptation and tolerance mechanism of *Zizyphus jujube* seedlings to salt stress in order to provide academic reference for selection of cultivars on saline-alkali land. [Methods] Annual *Zizyphus jujube* seedlings was taken as research object, pot water control experiments were conducted, to study the influences of different NaCl concentration (CK, 1.5, 3, 4.5, 6, 7.5 g/L) treatment on *Z. jujube* seedling growth, chlorophyll content, gas exchange parameters and antioxidant enzyme activity. [Results] ① When NaCl concentration was between 0~3 g/L, there was no obvious impacts on the survival rate and growth status of *Z. jujube*. When the concentration of NaCl was greater than 3 g/L, the survival rate of *Z. jujube* dropped significantly. Especially, when NaCl concentration was 6~7.5 g/L, the growth of *Z. jujube* was inhibited seriously. As a result, salt tolerance of *Z. jujube* was 3 g/L. ② With the increase of salt concentration and stress time, superoxide dismutase (SOD) activity, peroxidase (POD) activity,

收稿日期: 2017-10-03

修回日期: 2017-11-22

资助项目: 林业公益性行业科研专项“浑善达克沙地疏林型植被建设技术研究”(201504412); 国家自然科学基金项目(31260202)

第一作者: 麻云霞(1991—), 女(汉族), 内蒙古自治区乌兰察布市人, 硕士研究生, 研究方向为荒漠化防治。E-mail: 1572666975@qq.com。

通讯作者: 李钢铁(1963—), 男(汉族), 内蒙古自治区土默特左旗人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事荒漠化防治研究。E-mail: 13848817183@163.com。

catalase(CAT) activity of *Z. jujube* seedling leaf showed a rising trend initially and then decreased. In contrast, the content of malondialdehyde(MDA) and proline(Pro) increased. ③ Photosynthetic pigments content showed a decline trend, similarly, net photosynthetic rate ( $P_n$ ), stomatal conductance ( $G_s$ ) and transpiration rate ( $T_r$ ) showed a decline trend as well. While intercellular  $CO_2$  concentration ( $C_i$ ) showed a rising trend initially and then decreased. The decline of  $P_n$  was caused by stomatal factors at the beginning, and then caused by non-stoma limitation factors. [Conclusion] Low NaCl concentration ( $<3$  g/L) stress has little influence on the survival rate and growth status of *Zizyphus jujube*. But with the increase of NaCl concentration, the chlorophyll content, antioxidant enzyme system of *Z. jujube* seedlings will be suppressed, plant growth and development will be severely affected.

**Keywords:** salt stress; *Zizyphus jujube*; photosynthetic physiology; antioxidant enzymes

世界上分布着不同程度的盐渍化土壤,据不完全统计,其面积超过  $3.80 \times 10^8$   $hm^2$ ,其中中国三北地区和沿海地带分布约  $4.00 \times 10^7$   $hm^2$  盐渍化和次生盐渍化土地<sup>[1]</sup>。盐胁迫是制约植物生长和作物生产的重要因素,盐胁迫影响养分运输和分布,造成植物营养失衡,导致作物发育迟缓,植株矮小<sup>[2]</sup>,植物在受到盐渍化土壤胁迫后,植株体内会产生适应新环境的生理机制和相关酶激素水平变化,最小程度减轻高盐胁迫给植物带来的危害,保证植物正常生长<sup>[3]</sup>。因此,在全球粮食需求增多、耕地资源日趋减少的情况下,了解植物适盐、耐盐机理,加强对强耐盐性植物开发利用,对提高国民经济,增加粮食产量和保护环境等有重要意义<sup>[4]</sup>。

酸枣(*Zizyphus jujuba*)属鼠李科枣属,为栽培枣的原生种,古称棘,又叫“野枣”<sup>[5]</sup>。酸枣原产于中国,其果实可入药,具有较大的科研价值和生态价值。目前关于酸枣的研究主要集中于成分<sup>[6]</sup>、提取技术<sup>[7]</sup>、遗传多样性<sup>[8]</sup>和生态学<sup>[9]</sup>方面,但对其抗逆特性研究较少。本试验拟以酸枣幼苗为研究对象,探讨不同浓度 NaCl 处理下其生长、叶绿素含量、丙二醛含量、渗透调节物质含量、抗氧化酶活性的变化,旨在探讨酸枣的耐盐机理,以丰富中国西北地区耐盐种质资源,从而为酸枣耐盐遗传机理研究奠定基础,同时也为在盐渍地区栽培种植酸枣提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验于 2016 年 3—8 月在内蒙古农业大学温室大棚(111°73′29″E,40°83′35″N,海拔 1 051 m)中进行,试验期间棚内日/夜均温为 12~25 °C,相对湿度为 50%~90%,材料为乌拉特后旗林业科学研究所提供的生长健壮的 1 年生酸枣幼苗,供试用盐为 NaCl(分析纯)。

### 1.2 试验方法

选择大小基本一致的 1 年生酸枣苗种植于 27

cm×35 cm×22 cm 的塑料盆中,盆中装试验地土壤,每盆 3 株。进行 1 个月的缓苗期,于 7 月 10 日开始进行盐胁迫处理,共设 6 个 NaCl 浓度梯度:0(CK),1.5,3,4.5,6,7.5 g/L,每个处理 5 盆,3 次重复。胁迫期间,在盆土内浇入相应浓度 NaCl 溶液,每盆置有托盘,防止因其他原因导致的盐分流失,通过在浇灌前后测定电导值的方法,保证最终使盆土内与灌入营养液的电导值基本相同(±0.1),整个胁迫期间,NaCl 浓度能够基本保持稳定。试验持续进行 5 次,每隔 10 d 测 1 次相关指标。

### 1.3 测定指标及方法

(1) 生物量和存活率测定。生物量测定采取常规烘干法,并计算根冠比,用直尺和电子游标卡尺在试验开始和结束时测量幼苗苗高和基径,计算基径生长量  $D$  和苗高生长量  $H$ ,测定指标在第 50 d 测定。

根冠比 = 地下部分干质量 / 地上部分干质量

存活率 = (各处理存活植株数 / 处理总植株数) × 100%。

(2) 苗木受害状况。测定时对处理植株叶片的受害状况进行记录。

(3) 生理指标测定。超氧化物歧化酶(SOD)的测定采用 NBT 还原法<sup>[10]</sup>,过氧化物酶(POD)的测定采用愈创木酚法,过氧化氢酶(CAT)的测定采用紫外吸收法<sup>[11]</sup>,丙二醛(MDA)的测定采用硫代巴比妥酸法,脯氨酸(Pro)的测定采用磺基水杨酸提取茚三酮显色法测定<sup>[10]</sup>。

(4) 叶绿素(Chl)含量测定。采用丙酮乙醇混合液法,称取新鲜叶片 0.1 g,剪成细条后放入 10 ml 提取液中,在 25 °C 黑暗条件下提取 24 h,每个处理 3 个重复。测定提取液在 663,645,470 nm 处的吸光值,参照文献<sup>[12]</sup>计算叶绿素 a(Chla)、叶绿素 b(Chlb)、叶绿素(Chl)和类胡萝卜素(Car)。

(5) 光合作用测定。于 10:30—11:00 采用 LI-6 400 便携式光合测定仪(Li-Cor 公司,美国)测定

光合气体参数:净光合速率( $P_n$ )、气孔导度( $G_s$ )、胞间  $CO_2$  浓度( $C_i$ )和蒸腾速率( $T_r$ ),每个处理共测定3株,待测叶为每株2~4个叶片,随机选取其中1片叶进行测定。

#### 1.4 数据处理与分析

数据采用 Excel 和 SPSS 16.0 软件进行数据统计与分析,Duncan 法比较差异显著性( $p < 0.05$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 盐胁迫对酸枣生长指标的影响

不同浓度盐胁迫处理对酸枣存活率及生长状况影响差异较大。由表1可以看出,随着盐浓度的增大,酸枣幼苗的存活率逐渐降低。当浓度为0~3 g/L时,酸枣的存活率和生长状况影响不大,当浓度>3 g/L时,酸枣的存活率显著下降,生长状况受到严重的影响。

如表2所示,随着 NaCl 胁迫浓度的加强,酸枣  $H$ (苗高生长量)、 $D$ (基径生长量)和干生物量呈逐渐降低的趋势,当 NaCl 浓度为 1.5 g/L,三者与对照均差异不显著( $p > 0.05$ ),其他浓度均与对照呈显著性

差异( $p < 0.05$ )。说明盐胁迫对酸枣幼苗的生长产生了消极作用,且 NaCl 胁迫浓度越强,酸枣生长状况越差,抑制作用越显著。根冠比可以反映植物各器官对胁迫的敏感程度和逆境下植株生物量在地下部分和地上部分的分配关系。胁迫期间,酸枣的根冠比逐渐上升,各处理组与对照均呈显著性差异( $p < 0.05$ ),说明在盐胁迫条件下酸枣的地上部分对盐胁迫的敏感度要高于根系。以上结果表明,尤其在 NaCl 胁迫浓度为 6~7.5 g/L 的高浓度胁迫下,酸枣幼苗生长状况最差,抑制作用最为显著。

表1 不同浓度盐胁迫对酸枣的存活率与生长状况的影响

盐浓度/ (g · L <sup>-1</sup> )	存活率/ %	生长状况
CK	100.0	有新叶生长,老叶无黄叶落叶
1.5	100.0	有新叶生长,老叶无黄叶落叶
3.0	86.7	有新叶生长,老叶发黄失绿
4.5	46.7	基本无新叶生长,老叶梢端干枯
6.0	23.3	无新叶生长,老叶死黄化脱落
7.5	3.3	叶片黄化脱落,茎尖干枯

表2 盐胁迫对酸枣幼苗生物量分配及根冠比的影响

盐浓度/ (mmol · L <sup>-1</sup> )	苗高生长量 $H/cm$	基径生长量 $D/mm$	总干质量/ g	根冠比
CK	8.74 ± 0.55 <sup>a</sup>	0.88 ± 0.03 <sup>a</sup>	3.12 ± 0.31 <sup>a</sup>	0.62 ± 0.07 <sup>d</sup>
1.5	8.57 ± 0.33 <sup>a</sup>	0.71 ± 0.04 <sup>a</sup>	2.79 ± 0.29 <sup>ab</sup>	0.68 ± 0.08 <sup>d</sup>
3.0	6.22 ± 0.65 <sup>b</sup>	0.60 ± 0.03 <sup>b</sup>	2.65 ± 0.52 <sup>bc</sup>	0.88 ± 0.05 <sup>c</sup>
4.5	4.66 ± 0.67 <sup>c</sup>	0.50 ± 0.04 <sup>bc</sup>	2.49 ± 0.53 <sup>bc</sup>	0.97 ± 0.09 <sup>b</sup>
6.0	4.10 ± 0.54 <sup>cd</sup>	0.37 ± 0.09 <sup>c</sup>	2.38 ± 0.22 <sup>c</sup>	0.99 ± 0.05 <sup>b</sup>
7.5	3.44 ± 0.57 <sup>d</sup>	0.22 ± 0.03 <sup>d</sup>	1.91 ± 0.30 <sup>c</sup>	1.11 ± 0.03 <sup>a</sup>

注:同列数据不同小写字母表示差异显著( $p < 0.05$ )。

### 2.2 盐胁迫对酸枣生理指标的影响

#### 2.2.1 盐胁迫对酸枣幼苗叶片抗氧化酶活性的影响

由图1可以得出:随着盐浓度和胁迫时间的增加,酸枣幼苗叶片中 SOD 活性呈先上升后下降的趋势。当盐胁迫时间为 10 d 时,6 和 7.5 g/L 与 CK 均呈显著性差异( $p < 0.05$ ),升高了 9.67% 和 13.98%;第 20 d 时,1.5 和 3 g/L 与 CK 差异不显著,其他处理组与 CK 呈显著性差异( $p < 0.05$ ),其中 6 和 7.5 g/L 酶活性达到最大值;第 30 d 时,除 1.5 g/L 外,其他处理组与 CK 均呈显著性差异( $p < 0.05$ );第 40 d 时,处理组 4.5 g/L 与 CK 呈显著性差异( $p < 0.05$ ),酶活性升高了 13.54%;第 50 d 时,处理组 4.5 g/L 与 CK 相比,显著上升了 9.57%,而 6 和 7.5 g/L 与 CK 相比,显著下降了 9.85% 和 19.73%。

酸枣幼苗叶片中 POD 活性呈先上升后下降的趋势。第 10 d 时,4.5,6 和 7.5 g/L 与 CK 均呈显著性差异( $p < 0.05$ );第 20 d 时,处理组 1.5 和 3 g/L 与对照差异不显著,其他处理组与 CK 分别显著上升了 14.30%,30.19%,40.39%;第 30 d 时,除 1.5 g/L 外,其余处理组与 CK 均呈显著性差异( $p < 0.05$ ),其中 3 和 4.5 g/L 活性达到最大值;第 40 d 时,所有处理组酶活性都开始下降,处理组 4.5 g/L 与 CK 呈显著性差异( $p < 0.05$ ),酶活性升高了 13.21%,1.5,6 和 7.5 g/L 与 CK 相比有提升,但差异不显著;第 50 d 时,1.5 和 3 g/L 与 CK 差异不显著,处理组 4.5 g/L 与 CK 相比,显著上升了 11.81%,而 6 和 7.5 g/L 与 CK 相比显著下降。

酸枣幼苗叶片中 CAT 活性呈先上升后下降的趋

势。10 d 时,1.5 和 3 g/L 与 CK 差异不显著,4.5,6 和 7.5 g/L 与 CK 均呈显著性差异( $p < 0.05$ );第 20 d 时,1.5 和 3 g/L 与对照差异不显著,其他处理组与 CK 分别显著上升了 38.22%,59.55%,84.60%,其中 6 和 7.5 g/L 酶活性达到最大值,之后开始下降;第 30 d 时,除 1.5 g/L 外,其他处理组与 CK 相比分别上升了 34.54%,67.88%,44.19%,56.24%;第 40 d 时,3 和 4.5 g/L 与 CK 均呈显著性差异( $p < 0.05$ ),分别升高了 23.53%和 31.18%;第 50 d 时,4.5 g/L 与 CK 相比,呈显著性差异( $p < 0.05$ ),上升了 22.77%;6 和 7.5 g/L 显著低于对照( $p < 0.05$ )。

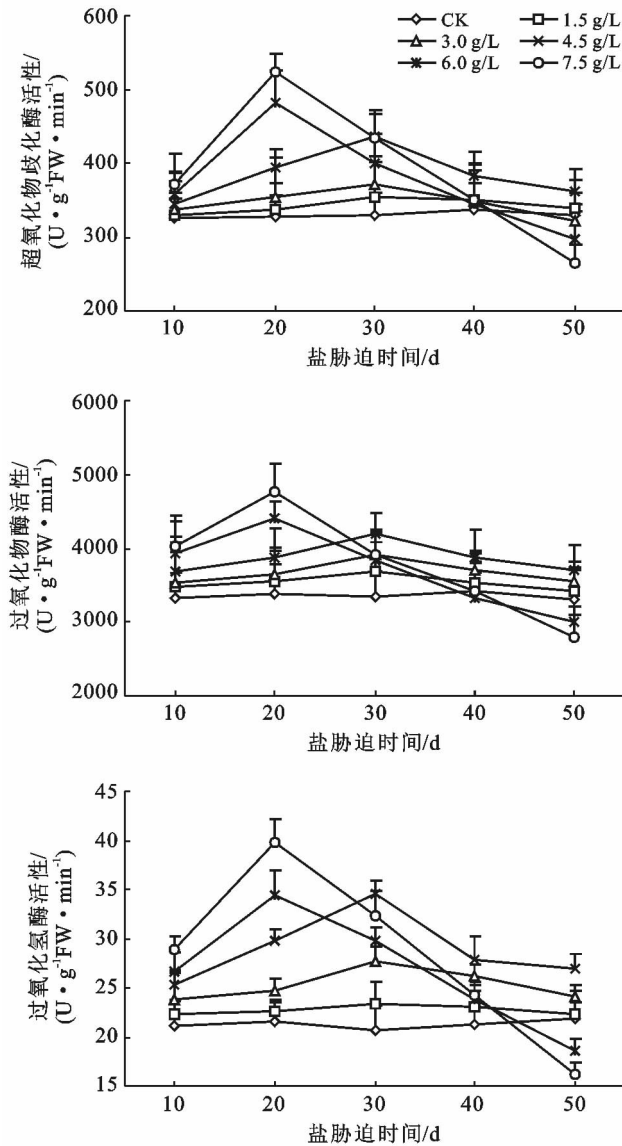


图 1 盐胁迫对酸枣幼苗叶片中抗氧化酶活性的影响

2.2.2 盐胁迫对酸枣幼苗叶片 MDA 和 Pro 含量的影响 如图 2 所示,MDA 含量表现为增加的趋势,同一时期,各处理组(1.5,3,4.5,6,7.5 g/L NaCl)含量高于 CK,第 10 d 时,各处理组与 CK 相比分别上升了

1.03%,3.33%,5.16%,10.60%,13.13%;第 20 d 时,各处理组与 CK 相比分别上升了 4.31%,9.74%,14.69%,20.29%,25.94%;第 30 d 时分别上升了 5.66%,20.80%,31.14%,33.60%,43.73%;第 40 d 时上升了 7.31%,24.93%,37.78%,46.62%,62.50%;第 50 d 时上升了 12.14%,26.97%,40.49%,61.66%,92.18%。

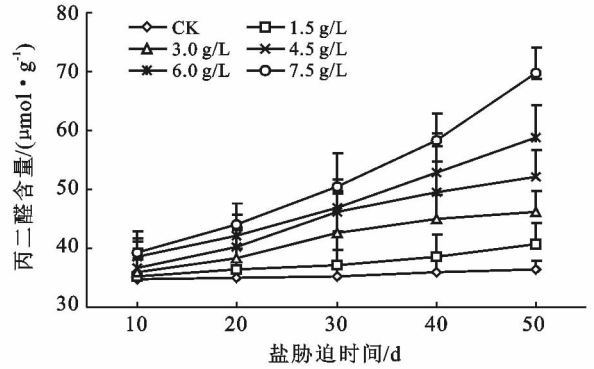


图 2 盐胁迫对酸枣幼苗叶片 MDA 含量的影响

如图 3 所示,Pro 含量表现为增加的趋势,当盐胁迫时间为 10 d 时,各处理组(1.5,3,4.5,6,7.5 g/L NaCl)与 CK 相比分别,上升了 5.69%,14.54%,32.58%,50.95%,62.76%;第 20 d 时上升了 15.34%,29.73%,42.22%,64.77%,82.12%;第 30 d 时上升了 20.33%,29.31%,52.02%,72.34%,105.62%;第 40 d 时上升了 24.24%,33.80%,72.53%,90.71%,134.72%;第 50 d 时上升了 28.84%,65.44%,112.44%,129.94%,191.58%。以上结果表明在同一处理组,MDA 含量和 Pro 含量与胁迫时间成正比,1.5 g/L 与 CK 差异不显著( $p > 0.05$ ),其他处理组均与 CK 呈显著性差异( $p < 0.05$ )。

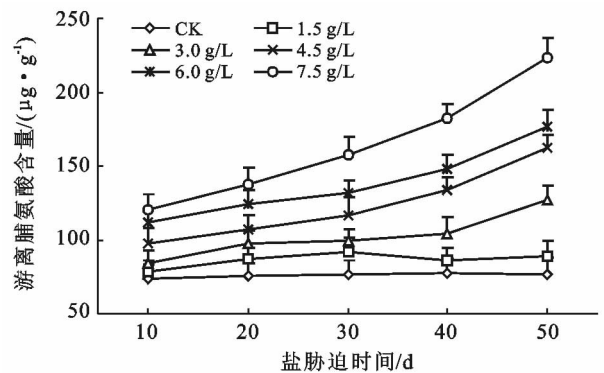


图 3 盐胁迫对酸枣幼苗叶片 Pro 含量的影响

2.3 盐胁迫对酸枣幼苗叶片光合色素含量的影响

由图 4 可以得出,随着盐浓度提高,胁迫时间的增长,酸枣幼苗叶片中 Chla 含量在逐渐下降。当盐

胁迫时间为 20 d 时,1.5 和 3 g/L 与 CK 差异不显著,其他处理组与 CK 分别显著降低了 4.59%,9.72%,13.45%;第 30 d 时,1.5 g/L 与 CK 差异不显著,其他处理组与 CK 呈显著性差异( $p < 0.05$ ),降低了

4.45%,10.28%,16.04%,22.35%;第 40 d 时,1.5 g/L 与 CK 差异不显著,其他处理组与 CK 呈显著性差异( $p < 0.05$ );第 50 d 时,各处理组与 CK 均呈显著性差异( $p < 0.05$ )。

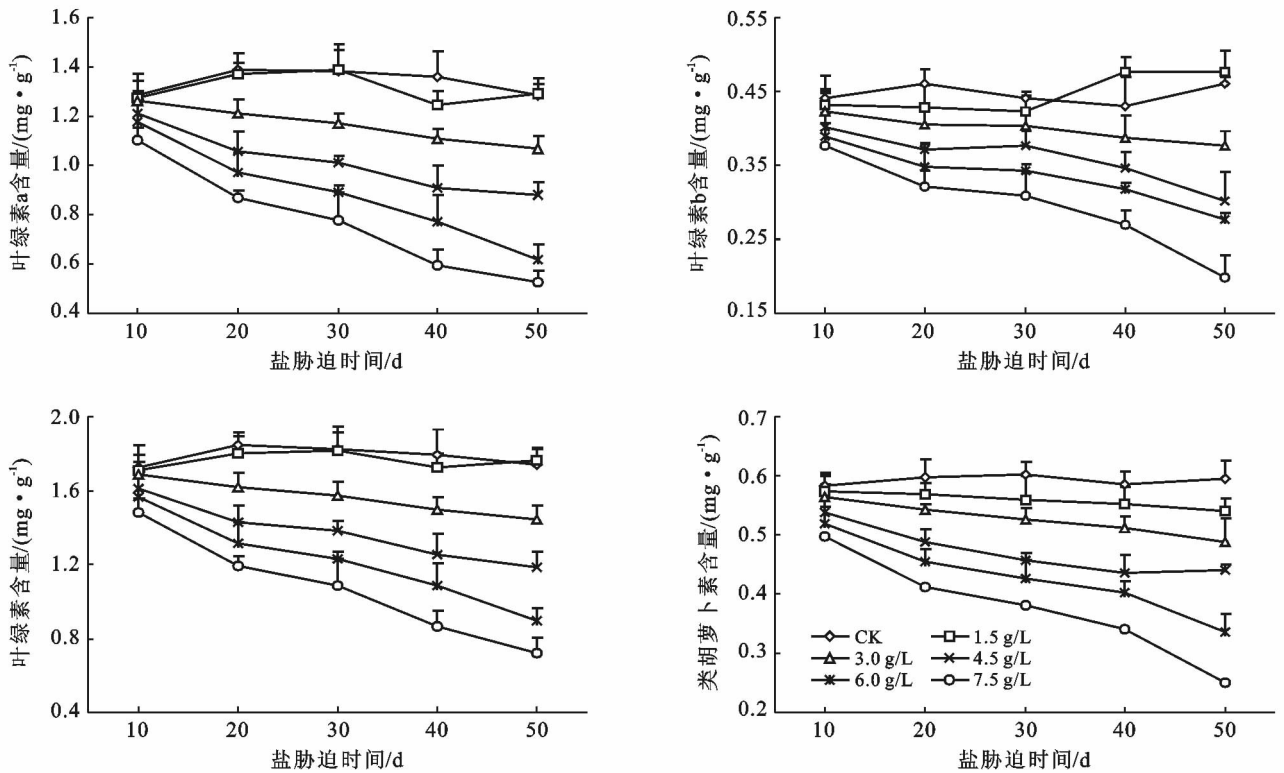


图 4 盐胁迫对酸枣幼苗叶片中光合色素含量的影响

酸枣幼苗叶片中 Chlb 含量呈下降趋势。第 10 d 时,1.5 和 3 g/L 与 CK 相比略有下降,4.5,6 和 7.5 g/L 与 CK 均呈显著性差异( $p < 0.05$ );20 d 时,1.5 和 3 g/L 与 CK 差异不显著,其他处理组与 CK 呈显著性差异( $p < 0.05$ ),分别降低了 11.13%,16.36%,20.00%;第 30 d 时,1.5 g/L 与 CK 差异不显著,其他处理组与 CK 呈显著性差异( $p < 0.05$ );第 40 d 时,1.5 g/L 与 CK 差异不显著,其他处理组与 CK 分别显著降低了 9.76%,19.30%,26.28%,37.44%;第 50 d 时,各处理组与 CK 均呈显著性差异( $p < 0.05$ )。

酸枣幼苗叶片中 Chl 含量呈下降趋势。第 10 d 时,1.5 和 3 g/L 与 CK 相比略有下降,4.5,6 和 7.5 g/L 与 CK 均显著降低了 4.58%,6.32%,8.35%;第 20 d 时,1.5 g/L 与 CK 差异不显著,其他处理组与 CK 呈显著性差异( $p < 0.05$ );第 30 d 时,1.5 g/L 与 CK 差异不显著,其他处理组与 CK 呈显著性差异( $p < 0.05$ );第 40 d 时,1.5 g/L 与 CK 差异不显著,其他处理组与 CK 分别显著降低了 7.07%,14.61%,24.66%,34.24%;第 50 d 时,各处理组与 CK 均呈显

著性差异( $p < 0.05$ )。

酸枣幼苗叶片中 Car 素含量呈下降趋势。第 10 d 时,4.5,6 和 7.5 g/L 与 CK 分别显著降低了 7.55%,11.15%,14.75%;第 20 d 时,1.5 g/L 与 CK 差异不显著,其他处理组与 CK 呈显著性差异( $p < 0.05$ );第 30 d 时,1.5 g/L 与 CK 差异不显著,其他处理组与 CK 呈显著性差异( $p < 0.05$ );第 40 d 时,1.5 g/L 与 CK 差异不显著,其他处理组与 CK 降低了 11.28%,17.36%,23.26%,32.12%;第 50 d 时,各处理组与 CK 均呈显著性差异( $p < 0.05$ )。

#### 2.4 盐胁迫对酸枣幼苗叶片光合参数的影响

由图 5 可以得出:随着盐浓度和胁迫时间的增加,酸枣幼苗叶片  $P_n$  呈下降趋势。第 10 d,1.5 和 3 g/L 与 CK 相比略有下降,4.5,6 和 7.5 g/L 与 CK 均呈显著性差异( $p < 0.05$ );第 20 d 时,1.5 g/L 与 CK 差异不显著,其他处理组与 CK 呈显著性差异( $p < 0.05$ ),分别降低了 17.5%,29.7%,40.75%,51.61%;第 30,40,50 d 时,1.5 g/L 与 CK 差异不显著,其他处理组与 CK 呈显著性差异( $p < 0.05$ )。



图 5 盐胁迫对酸枣幼苗叶片光合参数的影响

酸枣幼苗叶片  $G_s$  呈下降趋势。当盐胁迫时间为 10 d 时, 4.5、6 和 7.5 g/L 与 CK 均呈显著性差异 ( $p < 0.05$ ), 分别降低了 12.46%, 22.43%, 31.15%; 第 20、30、40 d 时, 1.5 g/L 与 CK 差异不显著, 其他处理组与 CK 呈显著性差异 ( $p < 0.05$ ); 第 50 d 时, 1.5 g/L 与 CK 差异不显著, 其他处理组与 CK 分别显著降低了 27.36%, 34.35%, 43.16%, 54.10%。

酸枣幼苗叶片  $C_i$  呈先下降后上升的趋势。第 10 d 时, 1.5 g/L 与 CK 相比略有下降, 其他处理组与 CK 分别显著降低了 5.13%, 11.68%, 18.18%, 23.92%; 第 20 d 时, 整体呈下降趋势, 1.5 g/L 与 CK 差异不显著, 其他处理组与 CK 呈显著性差异 ( $p < 0.05$ ); 第 30 d 时, 开始上升, 但是仍比 CK 低, 除了 1.5 g/L 外, 其他处理组与 CK 分别显著降低了 8.72%, 13.18%, 11.00%, 14.31%; 第 40 d 时, 处理组均与 CK 差异不显著; 第 50 d 时, 1.5、3、4.5 g/L 与 CK 差异不显著, 6 和 7.5 g/L 与 CK 呈显著性差异 ( $p < 0.05$ ), 分别上升了 10.38%, 15.97%。

酸枣幼苗叶片  $Tr$  呈下降趋势。第 10 d 时, 1.5 g/L 与 CK 相比略有下降, 其他处理组与 CK 相比, 均显著性下降 ( $p < 0.05$ ); 第 20 d 时, 1.5 g/L 与 CK 差异不显著, 其他处理组下降较明显, 分别降低了 20.81%, 28.80%, 36.67%, 48.37%; 第 30 d 后, 下降趋势比较平缓, 1.5 g/L 仍与 CK 差异不显著, 其他

处理组与 CK 分别降低了 23.79%, 34.01%, 39.28%, 53.65%; 第 40、50 d 时, 1.5 g/L 与 CK 差异不显著, 其他处理组与 CK 呈显著性差异 ( $p < 0.05$ )。

## 3 讨论

### 3.1 盐胁迫对酸枣幼苗生长的影响

生长抑制、生物量降低是盐胁迫下植物最敏感的生理响应<sup>[13]</sup>, 本研究中酸枣  $H$  和  $D$  随盐浓度增加呈下降趋势, 可见盐胁迫对酸枣的生长发育具有抑制作用, 这与靳娟等<sup>[14]</sup>、不合力杰木等<sup>[15]</sup>对酸枣在 NaCl 胁迫下的研究结论一致。随着胁迫时间的延长, 酸枣幼苗开始出现叶缘向内卷曲, 无新叶生长, 慢慢变成叶片发黄, 失去水分, 逐渐脱落的过程, 在高强度胁迫下更早地产生黄叶、萎蔫和落叶现象。前有研究证明, 大部分植物能通过生物量的重新再分配以适应新的盐胁迫环境<sup>[16]</sup>, 我们观察到盐胁迫提高了酸枣幼苗的根冠比, 这可能是盐胁迫下植物通过增大根冠比来提高对土壤中营养元素和水分的吸收以增强其在盐胁迫条件下的生长适应性, 表明盐胁迫对地上部生长的抑制作用大于对根系生长的抑制, 赵春桥等<sup>[17]</sup>在对不同盐胁迫对柳枝稷生物量、品质和光合生理的影响的研究中得出: 不同盐胁迫下, 柳枝稷植株营养器官与生殖器官生物量的分配体现出显著差异, 也更

进一步验证了上述结论。洪文君等<sup>[18]</sup>在对盐胁迫对竹柳幼苗的研究中得出结论:毛叶山桐子幼苗在 0.1% NaCl 浓度胁迫下,生长状况发生显著变化,植物进行生理指标适应性调整,所以 0.1% 为毛叶山桐子耐受临界盐分浓度;孙聪聪等<sup>[19]</sup>对银杏幼树生长的研究发现银杏幼树生长量耐盐阈值约为 0.4% NaCl,本研究中发现 NaCl 浓度为 0~3 g/L 时,酸枣的存活率和生长状况影响不大,当浓度 > 3 g/L 时,酸枣的存活率下降的显著,出现生长不良现象,说明酸枣幼苗能够忍受 0~3 g/L 盐浓度,具有一定的耐低盐性,当盐处理达到一定浓度,抑制作用显著,说明 3 g/L 盐浓度溶液作为对酸枣抑制作用的拐点,是适生耐盐范围的最大阈值。

### 3.2 盐胁迫对酸枣幼苗叶片保护酶(SOD, POD, CAT)活性和 MDA 和 Pro 含量的影响

活性氧的积累是盐胁迫对植物细胞造成伤害乃至死亡的主要原因<sup>[20]</sup>,本研究结果表明,胁迫期间,酸枣幼苗叶片中抗氧化酶(SOD, POD, CAT)活性呈现先升后降的变化趋势,说明盐胁迫初期,幼苗可通过调节自身生理特性,增强 SOD, POD 和 CAT 的活性,提高植株对盐胁迫环境的抵御能力,胁迫后期,酶活性开始有所下降,意味着幼苗的调节能力无法消除胁迫对植株内部产生的消极影响,高浓度盐分开始超出植物的承受范围,这与郑欣颖等<sup>[21]</sup>对龙船花(*Ixora chinensis*)、红背桂(*Excoecaria cochinchinensis*)、朱蕉(*Cordyline fruticosa*)抗盐生理研究和朱金方等<sup>[22]</sup>对中国柽柳的研究中得出的结论相似。大量试验研究表明,MDA 含量随着盐胁迫浓度的增加会有不同程度的增加,Pro 的积累缓解盐胁迫对幼苗造成的伤害<sup>[23]</sup>,酸枣叶片 Pro 和 MDA 含量随盐胁迫加剧呈现上升的趋势,反映了高度盐胁迫会抑制酸枣叶片渗透调节物质的形成和造成叶片膜质结构的破坏,酸枣 MDA 含量上升,说明其抗盐能力弱,Pro 含量的增加提高了酸枣叶肉细胞保水能力,同时也可提高对盐逆境的适应能力,这与 Shaheen 等<sup>[24]</sup>、程淑娟等<sup>[25]</sup>和范希峰等<sup>[26]</sup>的研究结果一致。

### 3.3 盐胁迫对酸枣幼苗叶片光合色素含量和光合参数的影响

本试验发现幼苗 Chla, Chl, Car 和 Chl 随盐浓度的增加呈递减的趋势,胁迫末期即第 50 d 时含量为胁迫期间最低,光合色素含量的降低影响植物对营养物质储存的机能,在盐胁迫下植株叶片发黄,可能是由于低盐条件下对植株生长发育不利,没能激活其对盐胁迫的抵抗机制,在高盐胁迫下,光和色素含量降低,表明高浓度盐胁迫对酸枣有较大的危害,并且盐

胁迫加速了叶绿素酶对叶绿素的分解,这与王志强<sup>[27]</sup>对酸枣研究结论有所差异,可能是因为不同盐类和同一盐类不同盐浓度、不同种源地和同一植物不同器官、不同发育阶段以及盐胁迫时间的长短等,都会产生不同的结果,盐分的抑制机理也不相同。

光合作用是植物生长的物质和能量基础,在逆境条件下,光合速率降低一方面是因为  $G_s$  降低导致  $CO_2$  供应不足,另一方面则是由叶绿体光合机构活力降低造成的<sup>[28]</sup>。盐胁迫下,引起植物叶片光合效率降低的因素主要有 2 种<sup>[29]</sup>。本研究表明,胁迫前期  $P_n$  下降的原因是气孔限制,因为  $G_s$  下降的同时伴随着  $C_i$  也在下降,到胁迫后期为  $G_s$  下降,  $C_i$  不变或升高,  $P_n$  下降的原因是非气孔限制,后期非气孔限制因素可能是导致酸枣生物量降低的关键因素,这与王仁雷等<sup>[30]</sup>研究得出大部分植物盐胁迫期间前期以气孔限制为主,后续才发生非气孔限制的结论完全一致。

## 4 结论

(1) 随着 NaCl 胁迫浓度的增加,酸枣的生长受到抑制,当浓度为 0~3 g/L 时,酸枣的存活率和生长状况影响不大,当浓度 > 3 g/L 时,酸枣的存活率下降的显著,尤其在 6~7.5 g/L 的高浓度胁迫下,酸枣幼苗生长受到严重抑制,3 g/L NaCl 浓度作为对酸枣抑制作用的拐点,是适生耐盐范围的最大阈值。

(2) 随着盐浓度的增加和胁迫时间的延长,酸枣幼苗叶片中抗氧化酶(SOD, POD, CAT)活性呈先上升后下降的趋势,MDA 含量和 Pro 含量均为增加的趋势,且与胁迫时间成正比,1.5 g/L 下与 CK 差异不显著( $p > 0.05$ ),其他处理组均与 CK 呈显著性差异( $p < 0.05$ )。

(3) 盐胁迫会破坏叶绿素的合成,叶绿素含量呈下降趋势;酸枣叶片的净光合速率( $P_n$ )、气孔导度( $G_s$ )以及蒸腾速率( $T_r$ )呈现下降趋势,而胞间二氧化碳浓度( $C_i$ )呈先下降后上升的趋势,  $P_n$  下降的原因前期是因为气孔因素,后期是由非气孔因素引起的,后期非气孔限制因素可能是导致酸枣生物量降低的主要原因。

本研究通过对盐胁迫下酸枣生理特性的研究,发现酸枣具有一定的耐低盐性,高浓度盐胁迫将会对植物生长造成危害,该盐分浓度阈值的发现,能够为酸枣在盐碱地区的种植和栽培提供理论依据,对于提高经济效益和生态效益有重要意义,但植物的耐盐性还受诸多因素的影响,如土壤中盐的成分和气候因子等,自然条件下酸枣的耐盐性还需进一步验证与研究。

## [ 参 考 文 献 ]

- [1] 赵可夫,李法曾. 中国盐生植物[M]. 北京:科学出版社, 1999:121-141.
- [2] 赵莹,杨克军,赵长江,等. 外源糖调控玉米光合系统和活性氧代谢缓解盐胁迫[J]. 中国农业科学, 2014, 47(20):3962-3972.
- [3] 王东明,贾媛,崔继哲. 盐胁迫对植物的影响及植物盐适应性研究进展[J]. 中国农学通报, 2009, 25(4):124-128.
- [4] 孙建昌,王兴盛,杨生龙. 植物耐盐性研究进展[J]. 干旱地区农业研究, 2008, 26(1):226-230.
- [5] 朱广龙,邓荣华,魏学智. 酸枣根系空间分布特征对自然干旱梯度生境的适应[J]. 生态学报, 2016, 36(6):1539-1546.
- [6] 王文凯. 炒酸枣仁伍抗抑郁作用机制及相伍后化学成分变化研究[D]. 哈尔滨:黑龙江中医药大学, 2014.
- [7] 林海成,祝洪艳,何忠梅,等. 正交试验优选酸枣仁总皂苷提取工艺[J]. 中国试验方剂学杂志, 2015, 21(5):42-45.
- [8] 张春梅,殷晓,李新岗,等. 黄河沿岸酸枣遗传多样性研究[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版, 2013, 41(12):107-112.
- [9] 易好,邓湘雯,项文化,等. 湘中丘陵区南酸枣阔叶林群落特征及群落更新[J]. 生态学报, 2014, 34(12):3463-3471.
- [10] Fu Jinmin, Huang Bingru. Involvement of antioxidants and lipid peroxidation in the adaptation of two coolseason grasses to localized drought stress[J]. Environmental and Experimental Botany, 2001, 45(2):105-114.
- [11] Zhang Weifeng, Zhang Feng, Raziuddin Raziuddin, et al. Effects of 5 aminolevulinic acid on oilseed rape seedling growth under herbicide toxicity stress [J]. Journal of Plant Growth Regulation, 2008, 27(2):159-169.
- [12] Chen Yiqin. Biochemistry Experiment Methods and Technology[M]. Beijing: Science Press, 2002:197-199.
- [13] 赵昕,杨小菊,石勇,等. 盐胁迫下荒漠共生植物红砂与珍珠的根茎叶中离子吸收与分配特征[J]. 生态学报, 2014, 34(4):963-972.
- [14] 靳娟,王依,鲁晓燕,等. NaCl 胁迫对酸枣幼苗离子吸收与分配的影响[J]. 园艺学报, 2015, 42(5):853-862.
- [15] 不合力杰木·吾不力卡斯木,再通古丽·朱玛,吾买尔江·亚森,等. 盐胁迫对酸枣种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 新疆农业大学学报, 2012, 35(4):312-316.
- [16] Van Zandt P A, Tobler M A, Mouton E, et al. Positive and negative consequences of salinity stress for the growth and reproduction of the clonal plant[J]. Journal of Ecology, 2003, 91(5):837-846.
- [17] 赵春桥,李继伟,范希峰,等. 不同盐胁迫对柳枝稷生物量、品质和光合生理的影响[J]. 生态学报, 2015, 35(19):6489-6495.
- [18] 洪文君,申长青,庄雪影,等. 盐胁迫对竹柳幼苗生理响应及结构解剖的研究[J]. 热带亚热带植物学报, 2017, 25(5):489-496.
- [19] 孙聪聪,赵海燕,郑彩霞. NaCl 胁迫对银杏幼树渗透调节物质及脯氨酸代谢的影响[J]. 植物生理学报, 2017, 53(3):470-476.
- [20] 王宁,曹敏健,于佳林. NaCl 胁迫对玉米幼苗有机渗透调节物质的影响[J]. 玉米科学, 2009, 17(4):61-65.
- [21] 郑欣颖,李鹏飞,薛立,等. 3 种园林植物的抗盐生理研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2017, 37(9):62-67.
- [22] 朱金方,刘京涛,陆兆华,等. 盐胁迫对中国柽柳幼苗生理特性的影响[J]. 生态学报, 2015, 35(15):5140-5146.
- [23] Wang Quanzhen, Wu Chunhui, Xie Bao, et al. Model analysing the antioxidant responses of leaves and roots of switchgrass to NaCl salinity stress[J]. Plant Physiology and Biochemistry, 2012, 58(4):288-296.
- [24] Shaheen Shah, Ce Hao. Quantum chemical investigation on photodegradation mechanisms of sulfamethoxypyridazine with dissolved inorganic matter and hydroxyl radical[J]. Journal of Environmental Sciences, 2017, 57(7):85-92.
- [25] 程淑娟,唐东芹,刘群录. 盐胁迫对两种忍冬属植物活性氧平衡的影响[J]. 南京林业大学学报:自然科学版, 2013, 37(1):137-141.
- [26] 范希峰,侯新村,朱毅,等. 盐胁迫对柳枝稷苗期生长和生理特性的影响[J]. 应用生态学报, 2012, 23(6):1476-1480.
- [27] 王志强. 盐碱胁迫对不同种源酸枣生长发育特性的影响及评价[D]. 新疆维吾尔自治区阿拉尔市:塔里木大学, 2017.
- [28] 许大全. 光合作用效率[M]. 上海:上海科学技术出版社, 2002:32-34.
- [29] 王树凤,胡韵雪,孙海菁,等. 盐胁迫对 2 种栎树苗期生长和根系生长发育的影响[J]. 生态学报, 2014, 34(4):1021-1029.
- [30] 王仁雷,华春,刘友良. 盐胁迫对水稻光合特性的影响[J]. 南京农业大学学报, 2002, 25(4):11-14.