

## 外源蔗糖对盐胁迫条件下甘草幼苗根系生长的缓解效应

柳福智<sup>1,2</sup>, 杨 军<sup>1</sup>

1. 甘肃农业大学农学院, 甘肃 兰州 730070

2. 兰州大学化学化工学院, 甘肃 兰州 730000

**摘要:** **目的** 研究外源蔗糖对盐胁迫甘草 *Glycyrrhiza uralensis* 幼苗根系生长的缓解效应。**方法** 以甘草幼苗为实验材料, 测定不同浓度的外源蔗糖处理下对盐胁迫条件下甘草幼苗生长、有效成分量、可溶性糖量、脯氨酸量及酶活性的影响及测定相关指标, 数据采用 SPSS 19.0 软件分析。**结果** 在盐胁迫条件下, 添加一定浓度的外源蔗糖后, 甘草幼苗的日相对生长率呈升高趋势; 总黄酮量和苯丙氨酸解氨酶 (PAL) 活性呈极显著升高, 外源蔗糖对盐胁迫下甘草幼苗根系生长的缓解作用在很大程度上与 PAL 活性的增强所引起的黄酮量的增加有关, 外源蔗糖的浓度为 10 mmol/L 时, PAL 的活性达到最大, 当外源蔗糖的浓度为 15 mmol/L 时, PAL 的活性又成下降趋势; 在施加不同浓度的外源蔗糖后甘草酸量比在盐胁迫条件下高, 达到未受盐胁迫时的水平, 外源蔗糖的浓度梯度对甘草酸积累的影响不明显。脯氨酸和可溶性糖量的变化呈现出相关性, 两者皆在施加 15 mmol/L 的外源蔗糖时达到对照水平, 当外源蔗糖的浓度在此基础上增加时, 甘草幼苗体内的可溶性糖和脯氨酸的量又呈现上升趋势。超氧化物歧化酶 (SOD) 和过氧化氢酶 (CAT) 的活性与未经盐胁迫处理的幼苗相比, 盐胁迫下幼苗中的 SOD 及 CAT 活性均上调, 一定浓度的外源蔗糖可降低盐胁迫幼苗中的 SOD 及 CAT 活性。**结论** 外源蔗糖可提高甘草幼苗体内抗氧化酶的活性, 从而维持了幼苗体内较低的活性氧水平, 降低了细胞受过氧化伤害的程度, 提高了甘草幼苗对盐胁迫的耐受性。

**关键词:** 甘草; 外源蔗糖; 盐胁迫; 缓解效应; 超氧化物歧化酶; 过氧化氢酶

**中图分类号:** R282.21 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2670(2015)18-2781-07

**DOI:** 10.7501/j.issn.0253-2670.2015.18.020

## Mitigation effect of exogenous sucrose on root growth of licorice seedlings under salt stress conditions

LIU Fu-zhi<sup>1,2</sup>, YANG Jun<sup>1</sup>

1. College of Agronomy, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China

2. College of Chemistry and Chemical Engineering, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China

**Abstract: Objective** To explore the mitigation effect of exogenous sucrose on the root growth of licorice (*Glycyrrhiza uralensis*) seedlings under salt stress conditions. **Methods** Licorice seedlings were taken as experimental materials, an experiment was conducted to study the effects of exogenous sucrose at different concentration on the growth and content of active ingredients, soluble sugar, proline, and activity of enzyme in licorice seedlings under NaCl stress conditions; Then to determine related indicators and analyze data by using the software SPSS 19.0. **Results** This study showed that: Under salt stress conditions, after adding a certain concentration of exogenous sucrose, the relative growth rate of licorice seedlings per day was increasing, and this stress could be a significantly weakening effect, indicating that exogenous sucrose had salt stress-relieving effect. The total flavonoids and phenylalanine ammonia lyase (PAL) activity were significantly increased, the exogenous sucrose could mitigate the seedling roots under the salt stress, the licorice flavonoid content in the enhanced growth was largely, due to the activity of PAL, increased, when the concentration of exogenous sucrose was 10 mmol/L, PAL activity reaching a maximum; While the concentration of exogenous sucrose was 15 mmol/L, PAL activity turned into a downward trend, the results indicating that this mitigation had the effect depended on the concentration. After applying exogenous sucrose at different concentration, the content of licorice acid was higher than that under salt stress and reached the level without salt stress; The impact of exogenous sucrose at gradient concentration on licorice acid accumulation was not obvious. The content changes of proline and soluble sugar showed the correlation between the two. When 15

收稿日期: 2015-04-24

基金项目: 甘肃农业大学盛彤笙科技创新基金 (GSAU-ST-1429)

作者简介: 柳福智(1976—), 男, 硕士, 讲师, 在职博士, 主要从事药用植物资源开发与利用等方面的教学和科研工作。E-mail: lfz\_1976@126.com

mmol/L of exogenous sucrose was applied both of them reached the controlled level; While the concentration of exogenous sucrose increasing on this basis, the contents of soluble sugar and proline in licorice seedlings were also on the rise. Compared with seedlings without salt stress treatment, the SOD and CAT activity in seedlings under the salt stress was increased; Certain concentration of exogenous sucrose could reduce the activity of SOD and CAT in seedlings under the salt stress. **Conclusion** The exogenous sucrose may increase the activity of antioxidant enzymes in licorice seedlings, thereby maintaining a low level of reactive oxygen species in seedlings, and reducing the hurting degree of peroxide to cell, and improving the tolerance of licorice seedlings to the salt stress.

**Key words:** *Glycyrrhiza uralensis* Fisch.; exogenous sucrose; salt stress; mitigation effect; SOD; CAT

甘草 *Glycyrrhiza uralensis* Fisch. 属豆科 Leguminosae 多年生草本植物, 以根和根茎入药, 性平味甘, 具有调和诸药、润肺止咳、清热解毒等功效及抗炎、抗癌、抗病毒等活性<sup>[1]</sup>。是最常用的中药之一, 俗有“十方九草”“国老”之美誉<sup>[2]</sup>。甘草中含有三萜类、黄酮类、生物碱类和多糖类等多种化合物<sup>[3]</sup>, 其主要活性成分甘草酸积累于根部, 常作为评价甘草药材质量优劣的特征性有效成分<sup>[4]</sup>。甘草不仅具有较高的药用、经济价值, 而且是一种理想的防风固沙植物, 对保护生态环境具有十分重要的意义<sup>[5]</sup>。

随着经济的发展和工业污染的加剧, 土壤盐渍化面积日益扩大, 加之对天然药物的不合理的采挖和开发利用, 致使野生甘草资源遭到毁灭性的破坏, 已远不能满足人们对市场的需求, 发展甘草种植已迫在眉睫。我国盐渍土地面积已达 1 亿公顷左右, 其中潜在的盐渍化土壤约 0.17 亿公顷<sup>[6]</sup>。盐胁迫下, 植物根系最早感受逆境胁迫信号, 并产生相应的生理反应, 继而影响地上部生长, 盐胁迫常导致植物根系生长受抑制<sup>[7]</sup>。由于土壤盐渍化程度的不断加剧, 已严重制约了我国药材产业的发展。甘草具有抗寒、耐热、耐旱、抗盐碱等优良特性, 是干旱半干旱地区重要的植物资源之一<sup>[8]</sup>。虽然甘草具有一定的抗逆性, 但盐胁迫仍是影响甘草幼苗生长和甘草药材品质的重要因素。土壤盐渍化是影响植物生长发育较为严重的环境胁迫之一<sup>[9]</sup>, 杨秀红等<sup>[2]</sup>的研究表明, NaCl 浓度处在 50 或 100 mmol/L 时, 甘草幼苗的生长和生理代谢基本正常, NaCl 浓度达到 200 mmol/L 时, 部分生理生化指标明显出现异常, 由此判断 200 mmol/L 的 NaCl 对甘草已有相当程度的伤害。通常植物通过抗氧化系统的作用抵御各种逆境胁迫<sup>[10]</sup>, 也可以通过积累黄酮类物质提高植物抗氧化能力<sup>[11-13]</sup>。大量研究表明<sup>[14-15]</sup>, 多种外源物质如硅离子、钙离子、甜菜碱、水杨酸等能够降低盐对植物的胁迫作用。

近年来, 应用外源物质减轻盐胁迫对植物的毒害作用成为抗盐研究中的一个热点。外源蔗糖和其他碳水化合物缓解盐对植物诸多生命活动的胁迫已有报道。如外源蔗糖对小麦幼苗耐盐性的影响<sup>[16]</sup>; 外源蔗糖对盐胁迫荞麦幼苗根系生长的缓解效应<sup>[17]</sup>。蔗糖在植物细胞的细胞质中合成, 在高等植物中, 是主要的糖类物质形式, 也是从叶片运输到植物体其他部位的主要糖类形式。此外, 蔗糖是植物体内一种重要的信号分子, 参与植物糖信号的传导及调控植物生长发育进程, 并能调控某些基因的表达, 如拟南芥中的 ATB2 基因<sup>[18]</sup>。有报道指出, 蔗糖能减轻盐胁迫对植物的毒害作用, 如外源蔗糖能显著缓解盐和热及盐热共同胁迫作用对菠菜 PSII 颗粒的伤害, 缓解其对光合作用的影响<sup>[19]</sup>。目前, 有关甘草的研究大多集中于栽培技术、药理活性及临床应用等方面, 对其抗盐碱特性及机制的研究很少, 尤其是外源蔗糖对盐胁迫条件下甘草幼苗根系生长及对根系幼苗缓解效应方面的研究鲜见报道。本实验通过施加不同浓度的外源蔗糖对 200 mmol/L NaCl 胁迫条件下的甘草幼苗进行处理, 通过研究盐胁迫下甘草幼苗生长和根系中黄酮、甘草酸量的变化、苯丙氨酸解氨酶 (PAL) 活性及甘草幼苗中可溶性糖量、游离脯氨酸量、过氧化氢酶 (CAT) 及超氧化物歧化酶 (SOD) 的活性, 来探究外源蔗糖对盐胁迫条件下甘草幼苗根系生长的缓解效应, 以期为更好地开发利用甘草药用植物资源和盐碱地区发展高产优质甘草种植产业奠定理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

样品采自甘肃酒泉甘草育种基地, 经甘肃农业大学陈垣教授鉴定为豆科甘草属植物甘草 *Glycyrrhiza uralensis* Fisch. 种子。将甘草种子播种于装有等量蛭石和草炭土的盆中, 苗龄达 30 d 后选取整齐一致的植株, 作为实验供试材料。

Agilent1100 液相色谱仪, GZX-GF101-4BS-II 电热恒温鼓风干燥箱, T6-新悦可见分光光度计,

KQ-200VDE 型双频数控超声波清洗器, 752 型紫外-可见分光光度计。

## 1.2 方法

**1.2.1 实验处理** 甘草苗生长 40 d 后作试验处理, 共设 8 个处理, 每个处理 60 株。在处理前每个处理对象随机抽取 20 株, 在 60 °C 下烘干至恒定质量称其干质量。处理分别为 CK<sub>1</sub>, 浇灌等量的蒸馏水; CK<sub>2</sub>, 浇灌浓度为 200 mmol/L 的 NaCl; T<sub>1</sub>, 浇灌浓度为 200 mmol/L NaCl+5 mmol/L 蔗糖; T<sub>2</sub>, 浇灌浓度为 200 mmol/L NaCl+10 mmol/L 蔗糖; T<sub>3</sub>, 浇灌浓度为 200 mmol/L NaCl+15 mmol/L 蔗糖; T<sub>4</sub>, 浇灌浓度为 200 mmol/L NaCl+20 mmol/L 蔗糖; T<sub>5</sub>, 浇灌浓度为 200 mmol/L NaCl+25 mmol/L 蔗糖; T<sub>6</sub>, 浇灌浓度为 200 mmol/L NaCl+30 mmol/L 蔗糖; 每盆浇灌 500 mL 的溶液, 每隔 3 d 浇灌 1 次, 培养钵下面垫有托盘, 以防盐溶液流失。待盐胁迫 30 d 后取样, 随机抽取 20 株在 60 °C 下烘干至恒定质量称其干质量。一部分样品存于冰箱中用于测 PAL 的活性。其他样品于 60 °C 下烘至恒定质量时测定根中总黄酮量变化和甘草酸量的变化。20 株用于测可溶性糖量、游离脯氨酸量、CAT 及 SOD 的活性。

**1.2.2 日相对生长量的测定** 将处理前后 2 次取的样品先用自来水冲洗表面的泥土, 再用蒸馏水冲洗干净。置于烘箱中, 在 105 °C 杀青 15 min, 60 °C 烘干至恒定质量, 称量其干质量。日相对生长率计算参照 Kingsbury 等<sup>[20]</sup>的方法。

日相对生长率=(ln 处理后生物量 - ln 处理前生物量)/处理天数

**1.2.3 PAL 活性的测定** 选取植株相同部位的鲜样, 参照薛应龙等<sup>[21]</sup>采用的方法提取与测定 PAL。

**1.2.4 总黄酮量的测定** 将待测样品用研钵研磨, 精密称取 0.200 0 g, 参照余茜等<sup>[22]</sup>采用超声方法提取和紫外-可见分光光度法测定根中的总黄酮。

**1.2.5 甘草酸量的测定** 甘草酸量的测定参照赵祎镭等<sup>[23]</sup>采用的方法提取与测定。采用 Agilent1100 液相色谱仪, 色谱条件: HiQSiLC<sub>18</sub>W 柱 (250 mm×4 mm, 4 μm); 流动相: 甲醇-1%冰醋酸 (82:18); 柱温 30 °C; 检测波长 250 nm; 体积流量 0.8 mL/min; 进样量 20 μL。

**1.2.6 可溶性糖量的测定** 可溶性糖量测定采用苯酚法<sup>[24]</sup>。

**1.2.7 游离脯氨酸量的测定** 脯氨酸量测定采用酸

性茚三酮法<sup>[25]</sup>。

**1.2.8 CAT 活性的测定** 选取植株相同部位的鲜样, 参照邹琦<sup>[26]</sup>采用的方法提取与测定 CAT。

**1.2.9 SOD 活性的测定** SOD 活性的测定可根据 Giannopolitis 等<sup>[27]</sup>的方法测定。

以上各指标测定均重复 3 次, 所有数据均采用 SPSS 19.0 软件进行误差和显著性分析 (P<0.05), 使用 Excel 2007 软件进行实验数据处理。

## 2 结果与分析

### 2.1 对盐胁迫下甘草幼苗生长的影响

由图 1 可知, CK<sub>2</sub> 的日相对生长率低于 CK<sub>1</sub> 和 T<sub>1</sub>~T<sub>6</sub> 的日相对生长率, 这说明在 200 mmol/L 盐胁迫条件下, 甘草的生长受到抑制, 随着加入不同浓度的外源蔗糖, 这种抑制作用在不断地消除。当施加 20 mmol/L 蔗糖时 (T<sub>4</sub>) 甘草的日相对生长率达到最大值, 与 CK<sub>1</sub> 处于同一水平。当施加 25 mmol/L 蔗糖时 (T<sub>5</sub>) 其日相对生长率又呈下降趋势。导致这一结果的原因有可能是高浓度的盐和外源蔗糖对甘草幼苗的根系造成生理性干旱所引起的, 具体原因有待进一步探究。

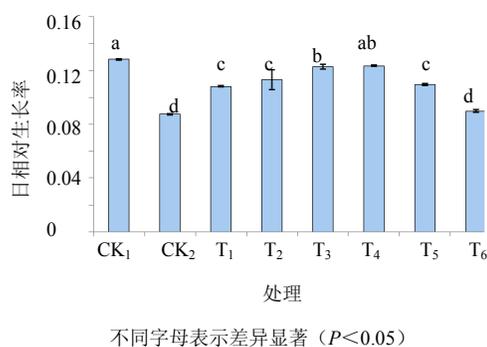


图 1 外源蔗糖对盐胁迫下甘草幼苗生长的影响

Fig. 1 Effects of exogenous sucrose on licorice seedling growth under salt stress

### 2.2 对盐胁迫下甘草幼苗根系中 PAL 活性的影响

图 2 给出了外源蔗糖对盐胁迫甘草幼苗根系中 PAL 活性的影响。经 200 mmol/L NaCl 处理 (CK<sub>2</sub>) 的甘草幼苗, 根中 PAL 活性极显著下降, 在施加 5 和 10 mmol/L 蔗糖时 (T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>) PAL 活性比单一盐胁迫下极显著升高, 但未恢复到未受盐胁迫的水平 (图 2)。在施加 30 mmol/L 蔗糖 (T<sub>6</sub>) 对盐胁迫下根中 PAL 活性受抑的缓解效应明显弱于 5、10、15、20、25 mmol/L 蔗糖 (T<sub>1</sub>~T<sub>5</sub>), 表明蔗糖的此种缓解作用有浓度效应。

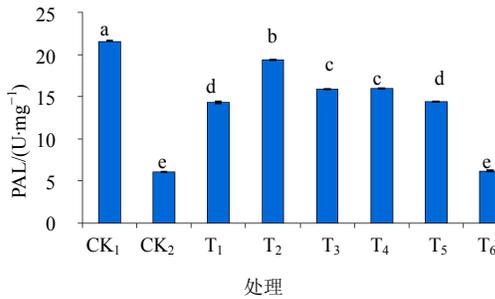


图 2 外源蔗糖对盐胁迫下甘草幼苗根系中 PAL 活性的影响  
Fig. 2 Effects of exogenous sucrose on PAL activity in roots of licorice seedling under salt stress

### 2.3 对盐胁迫下甘草幼苗根系中总黄酮量的影响

图 3 给出了外源蔗糖对盐胁迫甘草幼苗根系中总黄酮量的影响, 经 200 mmol/L NaCl 处理 (CK<sub>2</sub>) 的甘草幼苗根中总黄酮量呈极显著下降, 在施加 5、10、15 mmol/L 蔗糖时 (T<sub>1</sub>~T<sub>3</sub>) 甘草幼苗根中总黄酮量比单一盐胁迫下显著升高, 但未恢复到未受盐胁迫的水平 (图 3)。在施加 30 mmol/L 蔗糖 (T<sub>6</sub>) 对盐胁迫下根中总黄酮量缓解效应明显弱于 5、10、15、20、25 mmol/L 的蔗糖 (T<sub>1</sub>~T<sub>5</sub>), 表明蔗糖的此种缓解作用也有浓度效应。

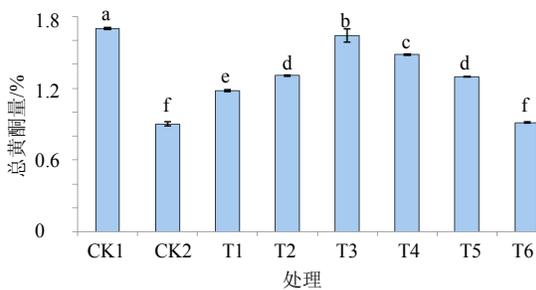


图 3 外源蔗糖对盐胁迫下甘草幼苗根系中总黄酮量的影响  
Fig. 3 Effects of exogenous sucrose on content of total flavonoids in roots of licorice seedlings under salt stress

经相关分析结果表明, 甘草幼苗根系中总黄酮量与 PAL 活性呈正相关 ( $r=0.9687$ )。PAL 是植物合成黄酮过程中的关键酶, 植物体内黄酮水平会随着 PAL 活性的增强或削弱而相应增加或减少<sup>[28]</sup>, 逆境下也不例外。从图 2 和图 3 可知, 低浓度的外源蔗糖对盐胁迫下甘草幼苗根中总黄酮量受抑的缓解作用可能与其对 PAL 活性受抑的缓解效应密切相关。

### 2.4 外源蔗糖对盐胁迫下甘草幼苗根系中甘草酸量的影响

外源蔗糖对盐胁迫甘草幼苗根系中甘草酸量的影响见图 4。从图 4 中 CK<sub>1</sub> 和 CK<sub>2</sub> 相比较可知, 甘

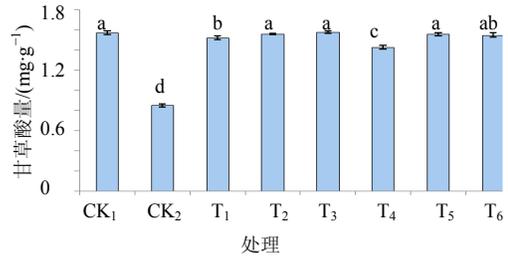


图 4 对盐胁迫下甘草幼苗根系中甘草酸量的影响

Fig. 4 Effects of exogenous sucrose on glycyrrhizic acid content in root of licorice seedlings under salt stress

草幼苗根系中甘草酸的量呈现极显著变化。在 200 mmol/L NaCl 胁迫下 (CK<sub>2</sub>), 甘草幼苗根系中甘草酸量明显下降。这可能是植株中甘草酸的代谢不正常所造成的。在施加不同浓度的外源蔗糖后, 甘草酸的量回复至 CK<sub>1</sub> 水平。但蔗糖浓度的变化并没有引起甘草幼苗根系中甘草酸量的变化。说明外源蔗糖对甘草幼苗根系中甘草酸的合成与积累响应不明显。但高浓度的 NaCl 会破坏甘草幼苗根系中甘草酸的合成和积累。这种胁迫效应极显著。

### 2.5 对盐胁迫下甘草幼苗中可溶性糖量的影响

可溶性糖的积累对于维持渗透胁迫下细胞内外的渗透平衡起重要作用。植物在逆境胁迫条件下, 可溶性糖量增加, 对原生质体结构及酶类起到一定的保护作用。图 5 给出了外源蔗糖对盐胁迫甘草幼苗中可溶性糖量的影响, 结果表明, 在单一盐胁迫条件下, 植物体内的可溶性糖相比对照显著增加, 当外源蔗糖的浓度为 15 mmol/L 时 (T<sub>3</sub>) 甘草幼苗体内可溶性糖达到对照水平, 说明外源蔗糖对盐胁迫条件下的甘草幼苗具有缓解效应。随着外源蔗糖浓度梯度的不断增加, 植物体内的可溶性糖又呈上升趋势。这也许是高浓度的外源蔗糖使植物体内的可溶性糖量增加造成的。

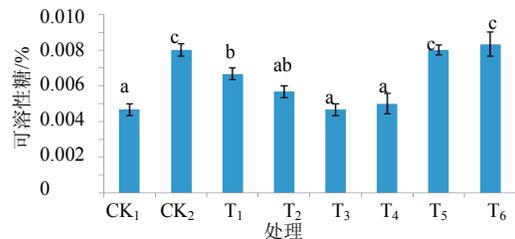


图 5 外源蔗糖对盐胁迫下甘草幼苗中可溶性糖量的影响  
Fig. 5 Effects of exogenous sucrose on soluble sugar content in roots of licorice seedlings under salt stress

### 2.6 对盐胁迫下甘草幼苗中脯氨酸量的影响

脯氨酸是植物体内重要的渗透调节物质,图 6 给出了外源蔗糖对盐胁迫甘草幼苗中脯氨酸量的影响,结果表明,经 200 mmol/L NaCl 处理(CK<sub>2</sub>)的甘草幼苗脯氨酸量极显著升高,在施加不同浓度梯度的外源蔗糖时脯氨酸的量成 U 型变化,外源蔗糖浓度为 15 mmol/L 时(T<sub>3</sub>),其脯氨酸的量接近对照 CK<sub>1</sub> 水平。以后随着外源蔗糖浓度的增加,其脯氨酸呈现出急剧增加的现象,表明蔗糖的此种缓解作用有浓度效应。

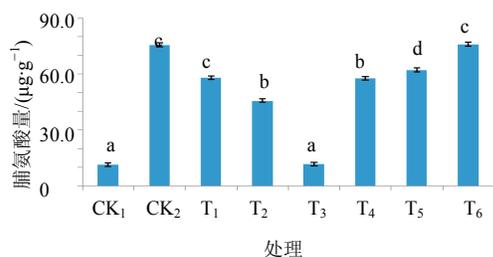


图 6 外源蔗糖对盐胁迫下甘草幼苗中脯氨酸量的影响  
Fig. 6 Effects of exogenous sucrose on proline content of licorice seedlings under salt stress

### 2.7 对盐胁迫下甘草幼苗中 CAT 活性的影响

图 7 给出了外源蔗糖对盐胁迫甘草幼苗中 CAT 活性的影响。经 200 mmol/L NaCl 处理(CK<sub>2</sub>)的甘草幼苗,幼苗中 CAT 活性极显著上升,在施加 5 和 10 mmol/L 蔗糖时(T<sub>1</sub>~T<sub>2</sub>)CAT 活性比单一盐胁迫下极显著下降,恢复到未受盐胁迫的水平。在施加 30 mmol/L 蔗糖(T<sub>6</sub>)对盐胁迫下幼苗中 CAT 活性受抑的缓解效应明显弱于 5、10、15、20、25 mmol/L 蔗糖(T<sub>1</sub>~T<sub>5</sub>),表明蔗糖的此种缓解作用具有浓度效应。

### 2.8 对盐胁迫下甘草幼苗中 SOD 活性的影响

植物对活性氧的伤害有精细而复杂的防御体

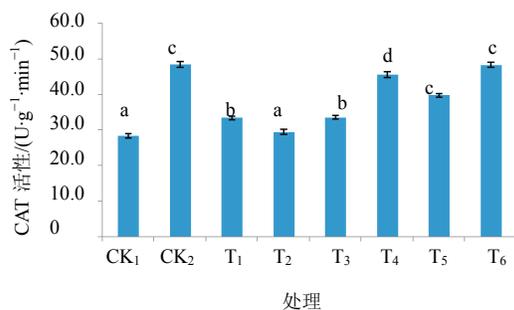


图 7 外源蔗糖对盐胁迫下甘草幼苗中 CAT 活性的影响  
Fig. 7 Effects of exogenous sucrose on CAT activity in licorice seedlings under salt stress

系,其中 SOD 是防御活性氧的关键<sup>[29]</sup>。图 8 表明经 200 mmol/L NaCl 处理(CK<sub>2</sub>)的甘草幼苗中 SOD 活性的变化规律与 POD 的相同,也是呈现极显著上升。当施加 5、10 mmol/L 的外源蔗糖(T<sub>1</sub>~T<sub>2</sub>)时,SOD 活性呈现下降趋势,但未达到对照水平。但在加入不同浓度梯度的外源蔗糖后,甘草幼苗中的 SOD 活性增加,由此可知,外源蔗糖可提高甘草幼苗体内抗氧化酶水平。

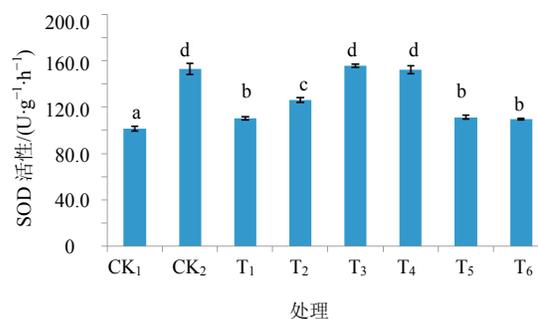


图 8 外源蔗糖对盐胁迫下甘草幼苗中 SOD 活性的影响  
Fig. 8 Effects of exogenous sucrose on SOD activity in licorice seedlings under salt stress

## 3 讨论

盐胁迫对植物最普遍、最显著的影响就是抑制生长。盐渍环境对植物产生离子毒害、氧化胁迫、养分竞争等作用,它们都对甜土植物的生长起抑制作用,对其造成严重的胁迫伤害,其中盐害最严重的时期是种子萌发及幼苗期<sup>[30]</sup>。盐胁迫除了容易造成离子伤害之外,还易造成生理干旱(渗透)胁迫,造成植物吸水困难,从而影响植物的正常生理代谢,抑制植物的生长发育。闫素芳等<sup>[16]</sup>认为盐胁迫对植物的伤害主要体现在以下几个方面:(1)吸水困难,土壤中盐分过多,降低土壤溶液的渗透势,形成生理干旱,造成细胞吸水困难,从而萎缩;(2)生物膜破坏及细胞内的大分子结构破坏,主要原因是盐胁迫可诱导植物体内产生大量的活性氧自由基(reactive oxygen species, ROS),其中包括超氧阴离子自由基、羟基自由基、脂自由基、过氧化氢(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)、单线态氧等,过量的活性氧自由基可以与脂膜、细胞色素以及蛋白质等发生反应,从而导致细胞膜系统被破坏,蛋白质及核酸等生物大分子变性,酶活性丧失,新陈代谢严重受到干扰,并最终导致细胞凋亡的发生;(3)生理代谢紊乱,钠离子与钾离子竞争细胞内酶的结合位点,细胞内有超过 50 种酶是被钾离子激活的,而钠离子没有这种作用。生长特性是植物对盐胁迫的综合反应,也是植

物耐盐性的最优评价指标<sup>[31]</sup>。

糖是光合作用的主要产物之一，其不仅作为代谢物质提供能量，为脂类、蛋白质和核酸的合成提供碳骨架，还是主要的细胞渗透调节剂之一，并作为植物体内的一种信号分子参与调控植物生长发育进程<sup>[32]</sup>。植物在长期进化中形成了一系列的适应盐胁迫机制，植物细胞是在低水势条件下积累渗透调节物，如无机离子、多元醇、可溶性糖、氨基酸及其衍生物，这些渗透调节剂可以提高细胞的渗透调节能力，维持细胞形态。外源糖有利于盐胁迫条件下植物吸水，缓解渗透胁迫对植物幼苗所造成的伤害，是主要的细胞渗透调节剂之一<sup>[33]</sup>。

本研究以蔗糖为外源物，探究了在盐胁迫条件下甘草幼苗生长过程中各种抗逆性指标及根系有效成分的变化规律，结果表明，在施加不同浓度的外源蔗糖时，甘草幼苗的日相对增长率呈现出不同的变化规律，甘草幼苗根系中总黄酮量和 PAL 活性的变化也呈现出不同的变化规律，这说明一定浓度的外源蔗糖对盐胁迫下甘草幼苗的生长具有一定的缓解效应。由甘草幼苗根系中总黄酮和 PAL 活性呈正相关 ( $r=0.9687$ )，可以认为外源蔗糖对盐胁迫下甘草幼苗根系生长的缓解作用在很大程度上与 PAL 活性的增强及其导致的黄酮量的增加有关，当外源蔗糖的浓度 10 mmol/L 时，甘草幼苗根系中 PAL 的活性达到最大值，当外源蔗糖的浓度为 15 mmol/L 时，PAL 的活性又成下降趋势。表明外源蔗糖对甘草幼苗根系中 PAL 和总黄酮的缓解作用具有浓度效应。在 200 mmol/L NaCl 胁迫条件下，甘草酸量呈极显著降低，这可能是植株中甘草酸代谢不正常造成。在 200 mmol/L NaCl 胁迫条件下施加 5 mmol/L 的外源蔗糖时，甘草幼苗根系中甘草酸量恢复至 CK<sub>1</sub> 水平。但不同浓度梯度的外源蔗糖变化并没有引起甘草幼苗根系中甘草酸量的变化。说明外源蔗糖对甘草幼苗根系中甘草酸的合成与积累响应不明显。

甘草幼苗体内可溶性糖和脯氨酸量的变化呈现出相关性，两者皆在施加 15 mmol/L 的外源蔗糖时达到对照水平，当外源蔗糖的浓度在此基础上增加时，甘草幼苗体内的可溶性糖和脯氨酸的量又呈现上升。这也说明外源蔗糖对甘草幼苗的生长缓解具有一定的浓度效应。在盐胁迫下植物体内会产生大量 ROS，ROS 与脂类反应，使膜系统受到伤害，细胞质膜完整性遭到破坏，膜透性加大<sup>[34]</sup>，这可能会抑制根系的生长和各种营养元素的吸收。而活性氧

在植物体内存在的时间主要取决于植物抗氧化能力，这与其体内抗氧化酶活性关系密切。在这些抗氧化酶中，最具代表性的有 SOD、CAT 等。SOD 在植物抵抗非生物逆境胁迫的过程中扮演了重要的角色，其功能主要是能通过歧化反应将 O<sub>2</sub><sup>-</sup> 转化为 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 从而抵御细胞氧化损伤的发生。CAT 是将 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 转变为 H<sub>2</sub>O 和 O<sub>2</sub> 过程中的一种关键酶<sup>[16]</sup>。本实验结果表明，经过蔗糖预处理后，与未经处理相比，盐胁迫下幼苗中的 SOD 及 CAT 活性均上调。这也与前述甘草幼苗体内可溶性糖以及脯氨酸的试验结果一致。由此可知，一定浓度的外源蔗糖可提高甘草幼苗体内抗氧化酶的活性，从而维持了幼苗体内较低的活性氧水平，降低了细胞受过氧化伤害的程度，提高了甘草幼苗对盐胁迫的耐受性。

综上所述，外源蔗糖可削弱盐胁迫对甘草幼苗生长的抑制效应，维持了甘草幼苗体内较低的活性氧水平。甘草幼苗根系中甘草酸得以积累。与盐胁迫相关的总黄酮量变化、PAL 活性的变化、可溶性糖量的变化及脯氨酸量的变化规律与之相呼应也说明了这一点。

#### 参考文献

- [1] 张萍, 祝希娴. 甘草及其制剂药理与临床应用研究新进展 [J]. 中草药, 1997, 28(9): 568-570.
- [2] 杨秀红, 李建民, 董学会, 等. 外源甘草酸对 NaCl 胁迫条件下甘草幼苗生长、根部甘草酸量以及几种与盐胁迫相关生理指标的影响 [J]. 植物生理学通讯, 2006, 42(3): 441-444.
- [3] 中国药典 [S]. 一部. 2010.
- [4] 李若洁, 石倩, 程彬峰, 等. 甘草酸协同麻黄碱的平喘作用机制研究 [J]. 药物评价研究, 2010, 33(3): 183-186.
- [5] 王荣阁, 张丽兰. 甘草的生态效益及其利用价值 [J]. 中国林副特产, 1993, 24(1): 40-41.
- [6] 吕贻忠, 李保国. 土壤学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2006.
- [7] 万春阳, 王丹, 侯俊玲, 等. 氯化钠胁迫对甘草生长、生理及有效成分量的影响 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2011, 17(18): 118-121.
- [8] 张继, 姚健, 丁兰, 等. 甘草的利用研究进展 [J]. 草原与草坪, 2000, 89(2): 12-16.
- [9] 林雷通, 童德文, 陈郑盟. 土壤盐渍化对烟草生理生化影响的研究进展 [J]. 河北农业科学, 2009, 13(11): 6-7.
- [10] Parida A K, Das A B. Salt tolerance and salinity effects on plants a review [J]. *Ecotoxicol Environ Saf*, 2005, 60(3): 324-349.
- [11] 黄少白, 刘晓忠, 戴秋杰, 等. 紫外光 B 辐射对菠菜叶片脂质过氧化作用的影响 [J]. 植物学报, 1998, 40(6): 542-547.

- [12] 冯虎元, 安黎哲, 陈书燕. 增强 UV-B 辐射与干旱复合处理对小麦幼苗生理特性的影响 [J]. 生态学报, 2002, 22(9): 1564-1568.
- [13] 孟朝妮, 刘成, 贺军民, 等. 增强 UV-B 辐射、NaCl 胁迫及其复合处理对小麦幼苗光合作用及黄酮代谢的影响 [J]. 光子学报, 2005, 34(12): 1868-1872.
- [14] 王涛, 贾晓东, 宣继萍, 等. 药赏两用植物的耐盐性研究进展 [J]. 江西农业学报, 2011, 23(12): 48-51.
- [15] 张新慧, 郎多勇, 白长财, 等. 外源硅对不同程度盐胁迫下甘草种子萌发和幼苗生长发育的影响 [J]. 中草药, 2014, 45(14): 2075-2079.
- [16] 闫素芳, 于洋, 葛青, 等. 外源蔗糖对小麦幼苗耐盐性的影响 [J]. 中国生态农业学报, 2012, 20(2): 225-230.
- [17] 刘丽萍, 臧小云, 袁巧云, 等. 外源蔗糖对盐胁迫荞麦幼苗根系生长的缓解效应 [J]. 植物生理学通讯, 2006, 42(5): 847-850.
- [18] Smeekens S, Rook F. Sugar sensing and sugar-mediated signaltransduction in plants [J]. *Plant Physiol*, 1997, 115(1): 7-13.
- [19] 邱念伟, 邓樱. 外源蔗糖显著缓解盐和热胁迫对菠菜 PSII 颗粒的伤害 [J]. 植物学通报, 2007, 24(4): 484-489.
- [20] Kingsbary R W, Epstein E, Pearay R W. Physiological responses to salinity in selected lines of wheat [J]. *Plant Physiol*, 1984, 74(2): 417-423.
- [21] 薛应龙, 欧阳光察, 澳绍根. 植物苯丙氨酸解氨酶的研究 IV、水稻幼苗中 PAL 活性的动态变化 [J]. 植物生理学报, 1983, 9(3): 301-306.
- [22] 余茜, 马淼, 赵红艳. 光果甘草不同愈伤组织中总黄酮量的比较 [J]. 种子, 2011, 30(7): 4-7.
- [23] 赵玮镭, 师清芝, 唐星. 甘草中甘草酸和甘草苷的提取纯化工艺研究 [J]. 中药工艺与制剂, 2009, 20(6): 426-429.
- [24] 李合生, 孙群, 赵世杰, 等. 植物生理生化实验原理和技术 [M]. 北京: 高等教育出版, 2000.
- [25] 张殿忠, 汪沛洪, 赵会贤. 测定小麦叶片游离脯氨酸量的方法 [J]. 植物生理学通讯, 1990(4): 62-65.
- [26] 邹琦. 植物生理学实验指导 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [27] Giannopolitis C N, Rise S K. Superoxide dismutase I. Occurrence in higher plants [J]. *Plant Physiol*, 1977, 59(1): 309-314.
- [28] 唐宇, 赵钢. 荞麦中苯丙氨酸解氨酶活力与黄酮量关系 [J]. 植物生理学通讯, 1992, 28(6): 419-420.
- [29] Halliwell B, Gutteridge J M C. *Free Radicals Biology and Medicine* [M]. Oxford: Clarendon Press, 1985.
- [30] 郑春芳. 外源 NO 缓解小麦幼苗盐胁迫的效应与花后盐渍对小麦产量的影响研究 [D]. 南京: 南京农业大学, 2009.
- [31] Levitt J. *Response of Plants to Environmental Stresses* [M]. New York: Academic Press, 1980.
- [32] Ho S L, Chao Y C, Tong W F, et al. Sugar coordinately and differentially regulates growthand tress-related gene expressionvia a complex signal transduction network and multiplecontrol mechanisms [J]. *Plant Physiol*, 2001, 125(2): 877-890.
- [33] Gibson S I. Control of plant development and gene expression by sugar signaling [J]. *Curr Opin Plant Biol*, 2005, 8(1): 93-102.
- [34] Hasegawa P M, Bressan R A, Zhu J K, et al. Plant cellular and molecular responses to high salinity [J]. *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol*, 2000, 51(10): 463-499.