

# 外源 $Zn^{2+}$ 对甘肃成县紫皮早蒜 盐胁迫伤害的缓解作用

叶文斌<sup>1,2</sup>, 樊亮<sup>3</sup>, 王昱<sup>1,2</sup>, 王瀚<sup>1,2</sup>, 王让军<sup>1,2</sup>, 杨小录<sup>1,2</sup>

(1. 陇南师范高等专科学校 农林技术学院, 甘肃 成县 742500; 2. 陇南特色农业生物资源研究开发中心, 甘肃 成县 742500;  
3. 陇南师范高等专科学校 数信学院, 甘肃 成县 742500)

**摘 要:**以甘肃成县紫皮早蒜鳞茎种子为试材,在浓度为  $1.5 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  NaCl 的胁迫下,添加不同浓度的外源  $Zn^{2+}$  ( $1.0 \times 10^{-6}$ 、 $10^{-5}$ 、 $10^{-4}$ 、 $10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ),研究其对成县紫皮早蒜鳞茎种子萌发、幼苗生长、幼苗渗透调节物质的含量和 4 种抗氧化酶活性的影响。结果表明:在单一 NaCl 胁迫下,成县紫皮早蒜鳞茎种子萌发和幼苗的生长受到严重抑制,添加不同浓度  $Zn^{2+}$  后,大蒜鳞茎种子萌发率和幼苗的耐盐性明显增强;添加  $Zn^{2+}$  浓度为  $1.0 \times 10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  时,大蒜鳞茎种子萌发率、萌发指数和芽长、根长、幼苗鲜质量、苗干质量、根鲜质量、根干质量、抗氧化酶 SOD、POD、CAT 和 APX 活性达到最大,可溶性糖、脯氨酸和丙二醛含量降到最低;因此说明,外源  $Zn^{2+}$  可以缓解 NaCl 胁迫对成县紫皮早蒜鳞茎种子萌发和幼苗的伤害;最适浓度为  $1.0 \times 10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

**关键词:**外源  $Zn^{2+}$ ; 成县紫皮早蒜; 盐胁迫; 伤害; 缓解

**中图分类号:**S 633.401 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)10-0001-05

Zn 是植物生长必需的微量元素,主要参与多种酶的合成,在植物的新陈代谢过程中具有重要作用<sup>[1]</sup>。近年来,Zn 对植物作用的研究主要集中于 Zn 在植物体内的吸收、分布、累积以及缺 Zn 导致的危害<sup>[2-5]</sup>,植物在受到逆境胁迫时能启动一系列生理生化过程,对逆境的感受、传递、响应和适应产生积极的作用,有研究报道适量的  $Zn^{2+}$  能降低质膜透性,促进干旱胁迫条件下种子的萌发,提高萌发势,而且低浓度  $Zn^{2+}$  会主动刺激处在干旱条件下的植物幼苗积累一些可溶性糖,去降低渗透势以适应外界干旱的环境条件,使幼苗在生长和发育上尽量减轻外界逆境的影响,提高生活力和对干旱环境的抗性,促进植物的生长<sup>[6]</sup>。种子萌发是影响植物一生的主要阶段,近年来对种子逆境萌发和生活策略的研究越来越多<sup>[7-8]</sup>。

成县位于甘肃省陇南市,属暖温带半湿润气候,四季分明,冷暖适度,独特的气候条件为大蒜的生长提供了良好的环境<sup>[9]</sup>,而陇南地区是栽培大蒜的主产区之一,目前成县已经成为国内蒜苗、蒜薹和蒜头(“三蒜”)主要的生产销售集散地之一。中国是世界上盐碱土大国之一,盐胁迫是影响植物生长发育和农作物产量的主要环境胁迫因子之一,随着陇南矿产经济的迅猛发展,土壤盐渍化进程加快,大蒜的品质和产量受到了影响,尤其对成县“三蒜”产业的发展影响较大。为此,该试验采用外源  $Zn^{2+}$  作用于盐胁迫下的成县紫皮早蒜,对大蒜种子萌发和幼苗生长以及抗逆指标进行测定,探讨大蒜抗盐机制,筛选出缓解大蒜盐胁迫的最适外源  $Zn^{2+}$  浓度,对减少土壤盐渍化的危害、提高成县紫皮早蒜产量具有重要意义,也为大蒜在生产种植上提供相关参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试成县紫皮早蒜鳞茎种子购自甘肃省陇南市成县农技中心。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 试验设计 用 NaCl 和蒸馏水配制成 $0.5 \times$

**第一作者简介:**叶文斌(1982-),男,甘肃西和人,硕士,讲师,研究方向为天然产物化学和果蔬保鲜及植物生理生态。  
E-mail:yewenbinbest@sohu.com

**基金项目:**甘肃省自然科学基金资助项目(1107RJZK243);甘肃省教育厅资助项目(2015B-148)。

**收稿日期:**2017-02-09

$10^{-2}$ 、 $1.0 \times 10^{-2}$ 、 $1.5 \times 10^{-2}$ 、 $2.0 \times 10^{-2}$  mol · L<sup>-1</sup> 的溶液;用 ZnCl<sub>2</sub> 和蒸馏水配制成  $1.0 \times 10^{-6}$ 、 $10^{-5}$ 、 $10^{-4}$ 、 $10^{-3}$  mol · L<sup>-1</sup> 的 Zn<sup>2+</sup> 培养液。

1.2.2 种子萌发处理 在培养皿(直径 15 cm)的底部铺上 2 张滤纸,选取籽粒饱满健康、大小一致的成县紫皮早蒜鳞茎种子,漂洗干净,用 10% 次氯酸钠溶液消毒 8 min,用蒸馏水冲洗 3 遍后,均匀点播 30 粒,准确加入 5 mL  $1.5 \times 10^{-2}$  mol · L<sup>-1</sup> 的 NaCl 溶液与各浓度 Zn<sup>2+</sup> 培养液 2 mL 进行交叉处理,以蒸馏水培养为对照(CK),重复 5 次,置入 25 °C 的光照培养箱中,遮光暗萌发 3 d,3 d 后每天光照 12 h,记录种子萌发数目,同时计算萌发率、萌发指数。

1.2.3 幼苗生长处理 参照叶文斌等<sup>[11-12]</sup>的方法在直径 250 cm 的花盆底部铺 2 张滤纸,以消毒和高温灭菌的沙作为培养基质,每盆培养 30 株大蒜幼苗,5 次重复,用上述二者组合的方法加入 10 mL 各浓度 Zn<sup>2+</sup> 与 10 mL 各浓度 NaCl 培养液,以蒸馏水为对照,定时补给 Zn<sup>2+</sup> 与各浓度 NaCl 和蒸馏水,用透明塑料袋将盆口套住,以防止水分蒸发和不同处理间的相互影响。将花盆置于恒温 25 °C、12 h · d<sup>-1</sup> 的智能温室中培养。

### 1.3 项目测定

早蒜鳞茎种子萌发率和萌发指数计算参照 SCHMIDHALTER 等<sup>[8]</sup>的方法,以芽长超过早蒜鳞茎种子长度的 50% 为发芽标准<sup>[10]</sup>。

幼苗培养第 7 天用直尺测定幼苗的根长、芽长;15 d 后取 30 株幼苗将根与苗分开,置于 105 °C 的烘箱中杀青 30 min,再调至 75 °C 烘至恒重,称其每 30 株的苗干质量和根干质量。

大蒜幼苗培养第 15 天后取健康生长幼苗植株顶部全展叶测定可溶性糖含量、丙二醛含量<sup>[13]</sup>和游离脯氨酸含量<sup>[14]</sup>;超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)和抗坏血酸过氧化物酶(APX)活性<sup>[15]</sup>。

### 1.4 数据分析

数据采用 SPSS 17.0 软件统计分析,运用单因素方差分析结合多重比较进行显著性检验,不同小写字母表示显著性差异( $P < 0.05$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 NaCl 胁迫对大蒜鳞茎种子萌发的影响

由图 1、2 可以看出,NaCl 胁迫浓度为  $0.5 \times 10^{-2}$  ~  $2.0 \times 10^{-2}$  mol · L<sup>-1</sup> 处理大蒜鳞茎种子后,随着 NaCl 浓度的升高,大蒜鳞茎种子萌发率和萌发指数以及幼苗的芽长和根长逐渐降低,与 KÜPPER 等<sup>[15]</sup>的研究结果相似。 $1.5 \times 10^{-2}$  mol · L<sup>-1</sup> NaCl

处理的大蒜萌发率和萌发指数与对照相比,分别下降了 23.12% 和 30.82%;芽长、根长与对照相比,分别下降了 51.38%、55.06%。 $2.0 \times 10^{-2}$  mol · L<sup>-1</sup> NaCl 处理的大蒜萌发率和萌发指数及幼苗的芽长、根长及发根数受到严重抑制,这与朱利君等<sup>[16]</sup>的研究结果相似。因此,选择  $1.5 \times 10^{-2}$  mol · L<sup>-1</sup> NaCl 处理做后续的研究。

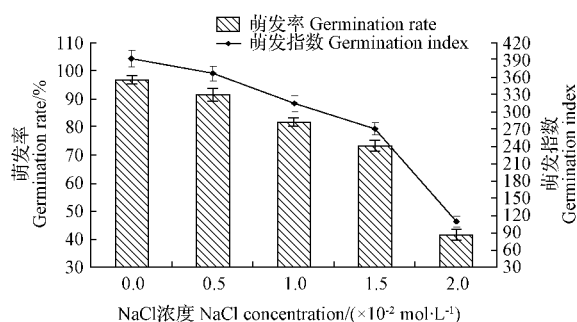


图 1 不同浓度的 NaCl 胁迫对大蒜鳞茎种子萌发的影响

Fig. 1 Effects of different concentrations of NaCl stresses on seed germination of garlic seeds

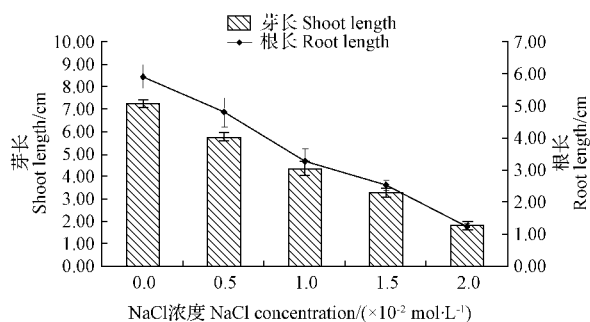


图 2 不同浓度的 NaCl 胁迫对大蒜鳞茎种子芽长和根长的影响

Fig. 2 Effects of different concentrations of NaCl stresses on shoot length and root length of garlic seeds

### 2.2 不同浓度 Zn<sup>2+</sup> 对 NaCl 胁迫下大蒜鳞茎种子萌发和幼苗生长的影响

以 NaCl 胁迫浓度为  $1.5 \times 10^{-2}$  mol · L<sup>-1</sup> 和不同浓度的 Zn<sup>2+</sup> 溶液交叉处理大蒜鳞茎种子,结果见图 3、4。在 Zn<sup>2+</sup> 浓度为  $1.0 \times 10^{-5}$  ~  $1.0 \times 10^{-4}$  mol · L<sup>-1</sup> 和 NaCl 胁迫处理后,大蒜鳞茎种子萌发率和萌发指数以及幼苗的芽长、根长与  $1.5 \times 10^{-2}$  mol · L<sup>-1</sup> NaCl-CK(0) 相比均呈升高趋势,Zn<sup>2+</sup> 浓度  $1.0 \times 10^{-3}$  mol · L<sup>-1</sup> 与 NaCl 胁迫处理后与  $1.5 \times 10^{-2}$  mol · L<sup>-1</sup> NaCl-CK(0) 相比明显降低;在 Zn<sup>2+</sup> 浓度  $1.0 \times 10^{-6}$  mol · L<sup>-1</sup> 时所有指标升高明显,与  $1.5 \times 10^{-2}$  mol · L<sup>-1</sup> NaCl-CK(0) 相比明显升高( $P < 0.05$ ),和 CK(0)-CK(0) 相

比差异不显著( $P>0.05$ )。结果表明, $Zn^{2+}$ 可以缓解NaCl胁迫对大蒜鳞茎种子的萌发抑制,当 $Zn^{2+}$ 浓度大于 $1.0\times 10^{-3} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,大蒜鳞茎种子的萌发开始受到严重抑制。

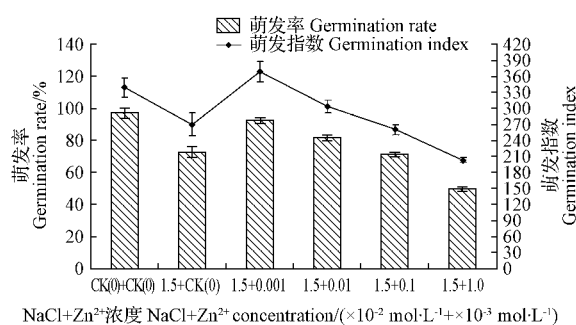


图3 不同浓度 $Zn^{2+}$ 对NaCl胁迫下大蒜鳞茎种子萌发的影响

Fig. 3 Effects of different concentrations of  $Zn^{2+}$  on garlic seed germination under NaCl stress

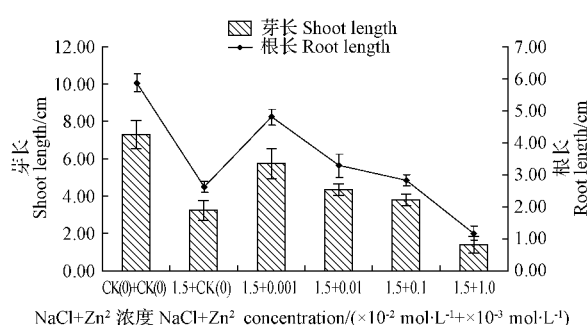


图4 不同浓度 $Zn^{2+}$ 对NaCl胁迫下大蒜鳞茎种子芽长和根长的影响

Fig. 4 Effects of different concentrations of  $Zn^{2+}$  on garlic seed shoot length and root length under NaCl stress

### 2.3 不同浓度 $Zn^{2+}$ 对NaCl胁迫下大蒜幼苗生长的影响

由图5、6可知,单一 $1.5\times 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  NaCl胁迫处理时,大蒜幼苗鲜质量、苗干质量、根鲜质量和根干质量都受到明显抑制,与CK(0)-CK(0)相比均呈降低趋势; $Zn^{2+}$ 浓度 $1.0\times 10^{-6}\sim 1.0\times 10^{-5} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 与NaCl胁迫处理后,大蒜幼苗鲜质量、苗干质量、根鲜质量和根干质量与 $1.5\times 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  NaCl-CK(0)相比均呈上升趋势, $Zn^{2+}$ 浓度 $1.0\times 10^{-4}\sim 1.0\times 10^{-3} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 胁迫处理后与 $1.5\times 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  NaCl-CK(0)相比均呈降低趋势,其中 $Zn^{2+}$ 浓度 $1.0\times 10^{-6} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 胁迫处理后所有指标升高明显,和CK(0)-CK(0)相比差异不显著( $P>0.05$ )。表明 $Zn^{2+}$ 可以缓解NaCl

胁迫对幼苗生长的抑制,当 $Zn^{2+}$ 浓度大于 $1.0\times 10^{-4} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,大蒜幼苗生长开始受到抑制。

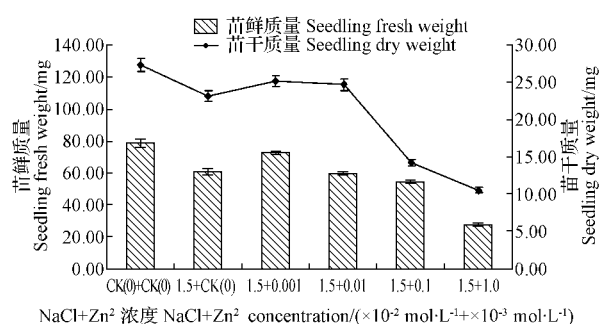


图5 不同浓度 $Zn^{2+}$ 对NaCl胁迫下大蒜幼苗鲜质量和干质量的影响

Fig. 5 Effects of different concentrations of  $Zn^{2+}$  on garlic seedling fresh weight and dry weight under NaCl stress

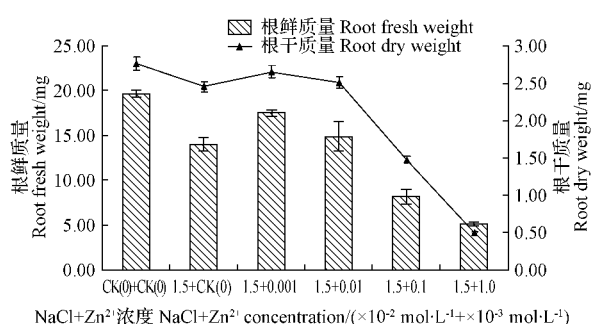


图6 不同浓度 $Zn^{2+}$ 对NaCl胁迫下大蒜幼苗根鲜质量和干质量的影响

Fig. 6 Effects of different concentrations of  $Zn^{2+}$  on garlic root fresh weight and root dry weight under NaCl stress

### 2.4 不同浓度 $Zn^{2+}$ 对NaCl胁迫下大蒜幼苗中渗透调节物质含量的影响

由图7可知, $1.5\times 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  NaCl处理后大蒜幼苗中的可溶性糖、脯氨酸和丙二醛含量均显著升高,与CK(0)-CK(0)相比差异显著( $P<0.05$ )。添加 $Zn^{2+}$ 浓度 $1.0\times 10^{-6}\sim 1.0\times 10^{-4} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 胁迫处理后,大蒜幼苗中可溶性糖、脯氨酸和丙二醛含量与 $1.5\times 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  NaCl胁迫相比均呈降低趋势;当 $Zn^{2+}$ 胁迫浓度为 $1.0\times 10^{-3} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时大蒜幼苗中可溶性糖、脯氨酸和丙二醛含量最高,对大蒜已造成严重伤害。当 $Zn^{2+}$ 浓度为 $1.0\times 10^{-6} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时大蒜幼苗中的脯氨酸、丙二醛含量降到最低,与单独盐胁迫处理相比呈差异显著( $P<0.05$ ),与CK(0)-CK(0)相比无显著差异( $P>0.05$ )。综上所述可见, $Zn^{2+}$ 浓度 $1.0\times 10^{-6} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理

可以降低渗透调节物质可溶性糖、脯氨酸含量积累,降低细胞膜透性和膜脂质的过氧化程度,减小对膜和细胞的伤害。

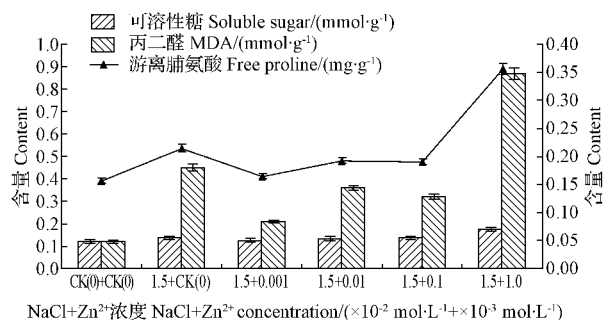


图7 不同浓度  $Zn^{2+}$  对 NaCl 胁迫下大蒜幼苗中渗透调节物质含量的影响

Fig. 7 Effects of different concentrations of  $Zn^{2+}$  on osmotic regulation substances contents in garlic seedlings under NaCl stress

## 2.5 不同浓度 $ZnCl_2$ 对 NaCl 胁迫下大蒜幼苗抗氧化保护酶的影响

从图8可知,  $1.5 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  NaCl 处理后大蒜幼苗中抗氧化保护酶 SOD、POD、CAT、APX 活性均升高,与 CK(0)-CK(0) 相比差异显著 ( $P < 0.05$ )。添加不同浓度  $Zn^{2+}$  后,大蒜幼苗的 SOD、POD、CAT、APX 活性呈先升后降的变化趋势;当  $Zn^{2+}$  浓度为  $1.0 \times 10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  时,大蒜幼苗 SOD、POD、CAT、APX 活性达到最大,与  $1.5 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  NaCl 单一胁迫处理相比差异显著 ( $P < 0.05$ )。提示低浓度  $Zn^{2+}$  可以有效提高 NaCl 胁迫大蒜幼苗的抗氧化保护酶活性,减少盐胁迫对幼苗的氧化损伤;当  $ZnCl_2$  浓度大于  $1.0 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  时,大蒜幼苗的抗氧化保护酶活性开始降低。

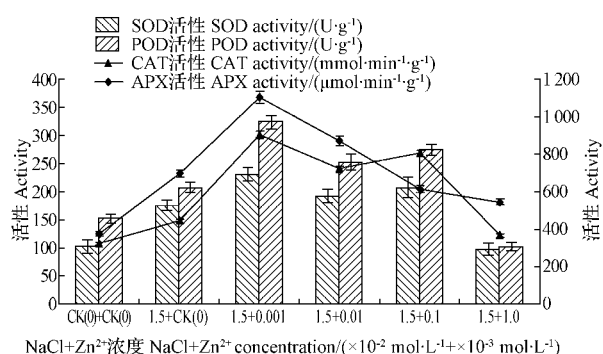


图8 不同浓度  $Zn^{2+}$  对 NaCl 胁迫下大蒜幼苗中抗氧化保护酶的影响

Fig. 8 Effects of different concentrations of  $Zn^{2+}$  on oxidation protective enzyme activity in garlic seedlings under NaCl stress

## 3 结论与讨论

在  $1.5 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  NaCl 胁迫下,甘肃成县紫皮早蒜鳞茎种子萌发和幼苗的生长受到抑制,当添加不同浓度  $Zn^{2+}$  后,大蒜鳞茎种子萌发率和幼苗的耐盐性明显增强。在添加不同浓度的  $Zn^{2+}$  后,与单一盐胁迫相比,大蒜鳞茎种子萌发率、萌发指数和芽长、根长、幼苗鲜质量、苗干质量、根鲜质量和根干质量均有所增加;幼苗中的 SOD、POD、CAT 和 APX 4 种抗氧化酶活性增加、可溶性糖、脯氨酸和丙二醛含量下降。当添加  $Zn^{2+}$  为  $1.0 \times 10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  时,大蒜鳞茎种子萌发率、萌发指数和芽长、根长以及幼苗鲜质量、苗干质量、根鲜质量和根干质量、抗氧化酶活性达到最大,可溶性糖、脯氨酸和丙二醛含量降到最低。因此,缓解 NaCl 胁迫对大蒜鳞茎种子萌发和幼苗伤害的最适  $Zn^{2+}$  浓度为  $1.0 \times 10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

盐胁迫主要导致植物体内离子不平衡、渗透胁迫、离子毒害和营养缺乏等现象,同时植物生长受到抑制,能耗增加、光合下降、胞内物质外渗,造成植物代谢状况恶化,植物主动启动自身的保护酶系统以应答和抵御活性氧自由基对植物细胞造成的伤害<sup>[17-18]</sup>。该研究中 NaCl 胁迫严重抑制了大蒜种子萌发和幼苗的生长,抗氧化保护酶活性比对照显著提高,当添加不同浓度的  $Zn^{2+}$  后,抗氧化保护酶的活性进一步提高,就会促进 SOD、POD、CAT 和 APX 活性,增强对自由基的清除能力,来缓解 NaCl 胁迫对大蒜幼苗生长的影响,这可能是微量的  $Zn^{2+}$  被大蒜种子和幼苗吸收后,促进在 NaCl 胁迫条件下种子的萌发,提高萌发势,同时  $Zn^{2+}$  也可能结合到植物体内的有关酶活性基团上面,刺激植物的生理活性,提高生活力和对高 NaCl 环境的抗性<sup>[8]</sup>。维持活性氧代谢平衡是保证大蒜植物正常生长发育的重要机制,在大蒜遭受钠盐胁迫时,活性氧会大量积累并造成膜脂过氧化,渗透溶质会主动进行渗透调节和维持离子的相对均衡而适应高盐的胁迫条件,增强环境的适应能力<sup>[17-18]</sup>。低浓度的  $Zn^{2+}$  会主动刺激处在单一钠盐条件下的大蒜幼苗积累一些可溶性糖,去降低渗透势以适应外界的高盐环境条件,使幼苗在生长和发育上尽量减轻外界逆境的影响,同时刺激大蒜幼苗积累较多可溶性糖,引起大蒜体内脯氨酸含量的显著增加,这种胁迫对大蒜幼苗器官衰老和伤害,都可能发生膜脂过氧化作用使膜透性改变<sup>[8]</sup>。这些都与植物在长期的进化过程中已形成的一系列耐盐和抗盐的机制有关,大蒜在大田种植中出现响应和实验室研究虽然具有相似性,但在大田中存在的的影响因素较多,因此,对成县迟蒜在较低的锌盐干

扰下的抗钠盐机理尚有很多工作要做。所以研究土壤中锌对高钠条件下成县迟蒜生长的影响行为,对干预高钠盐碱地条件下主要经济作物的生产和品质的提高,为科学种植成县迟蒜具有现实的农业指导意义。

### 参考文献

- [1] 顾敏华,张继封,顾建明,等. 锌对青花菜叶片光合特性的影响[J]. 兰州大学学报(自然科学版),2008,44(5):35-39.
- [2] ZHENG N, WANG Q, ZHANG X, et al. Population health risk due to dietary intake of heavy metals in the industrial area of Huludao city, China[J]. Sci Total Environ, 2007, 387(1-3): 96-104.
- [3] KÜPPER H, ZHAO F J, McGRATH S P. Cellular compartmentation of zinc in leaves of the hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens* [J]. Plant Physiol, 1999, 119(1): 305-312.
- [4] ÇAKMAK I, KALAYC M, EKİZ H et al. Zinc deficiency as a practical problem in plant and human nutrition in Turkey: ANATO-science for stability project[J]. Field Crop Res, 1999, 60(1): 175-188.
- [5] KOCHIAN L V. Zinc absorption from hydroponic solutions by plant roots[J]. Dev Plant Soil Sci, 1993, 55: 45-48.
- [6] 叶文斌,樊亮,叶建龙. Zn 盐和干旱胁迫对纹党种子萌发和幼苗生理特性的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2015, 33(2): 106-112, 134.
- [7] 叶文斌. Zn<sup>2+</sup> 与干旱交叉胁迫对当归种子萌发和幼苗生理特性的影响[J]. 安徽农业大学学报, 2015, 42(2): 305-309.
- [8] SCHMIDHALTER U, OERTLI J J. Germination and seedling growth of carrots under salinity and moisture stress[J]. Plant and Soil, 1991, 132: 243-251.
- [9] 李家春,张玉祥,赵红梅. 成县大蒜产销现状及发展对策[J]. 农业科技与信息, 2010, 13(42): 22-23.
- [10] 米银法,王进涛,朱坤. 外源钙对盐胁迫下菊花生理效应影响[J]. 科技导报, 2010, 28(17): 83-86.
- [11] 叶文斌,樊亮,袁汉伯. Pb<sup>2+</sup> 对甘肃纹党种子萌发和幼苗生理特性的影响[J]. 西北农业学报, 2012, 21(12): 142-148.
- [12] 叶文斌,樊亮. 党参和黄芪种植地土壤水浸液对玉米化感作用研究种子[J]. 种子, 2013, 32(4): 29-33, 36.
- [13] 中国科学院上海植物生理研究所,上海市植物生理学会. 现代植物生理学实验指南[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- [14] GICHNER T, PATKOVÁ Z, SZÁKOVÁ J, et al. Toxicity and DNA damage in tobacco and potato plants growing on soil polluted with heavy metals[J]. Ecotoxicol Environ Saf, 2006, 65(3): 420-426.
- [15] KÜPPER H, KÜPPER F, SPILLER M. *In situ* detection of heavy metal substituted chlorophylls in water plants[J]. Photosynth Res, 1998, 58(2): 123-133.
- [16] 朱利君,闫秋洁. 外源氯化钙对大蒜幼苗盐胁迫伤害的缓解作用[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(8): 242-244.
- [17] 朱晓军,杨劲松,梁永超,等. 盐胁迫下钙对水稻幼苗光合作用及相关生理特性的影响[J]. 中国农业科学, 2004, 37(10): 1497-1503.
- [18] ASHRAF M, FOOLAD M R. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance[J]. Environmental and Experimental Botany, 2007, 59: 206-216.

## Abating Effect of Applying Zn<sup>2+</sup> on Salt Stress Damage of Chengxian Purple Leather Early Garlic in Gansu Province

YE Wenbin<sup>1,2</sup>, FAN Liang<sup>3</sup>, WANG Yu<sup>1,2</sup>, WANG Han<sup>1,2</sup>, WANG Rangjun<sup>1,2</sup>, YANG Xiaolu<sup>1,2</sup>

(1. School of Agriculture and Forestry Technology, Longnan Teachers College, Chengxian, Gansu 742500; 2. Center for Research & Development of Longnan Characteristic Agro-bioresources, Chengxian, Gansu 742500; 3. School of Mathematics and Information, Longnan Teachers College, Chengxian, Gansu 742500)

**Abstract:** With Chengxian purple leather early garlic bulb seeds as test material, at different concentrations of Zn<sup>2+</sup> ( $1.0 \times 10^{-6}$ ,  $10^{-5}$ ,  $10^{-4}$ ,  $10^{-3}$  mol · L<sup>-1</sup>) on seeds under  $1.5 \times 10^{-2}$  mmol · L<sup>-1</sup> stress salt, the seed germination, seedling growth and the contents of osmotic adjustment substances and 4 kinds of antioxidant enzyme activities were determined. The results showed that, under the single NaCl stress, garlic bulb seed germination and seedling growth were severely suppressed, after adding different concentrations of Zn<sup>2+</sup>, the germination rate of garlic bulbs and the salt tolerance of seedlings were significantly increased. When the concentration of Zn<sup>2+</sup> was  $1.0 \times 10^{-6}$  mol · L<sup>-1</sup>, garlic seed germination rate, germination index and shoot length, root length, and seedling fresh weight, seedling dry weight, root fresh weight and root dry weight, SOD, POD, CAT and APX antioxidant enzymes activity reached the maximum, and the content of soluble sugar, free proline and MDA decreased to the lowest level. Therefore, exogenous Zn<sup>2+</sup> could alleviate the optimal concentration of NaCl stress on garlic bulb seed germination and seedling injury, the optimum concentration was  $1.0 \times 10^{-6}$  mol · L<sup>-1</sup>.

**Keywords:** exogenous Zn<sup>2+</sup>; Chengxian purple leather early garlic; salt stress; damage; relief