

李芳芳,赵宝龙,李汉钊,等. 5-氨基乙酰丙酸浸种对 NaCl 胁迫下酸枣种子萌发及芽苗生理特性的影响[J]. 江苏农业科学,2018,46(17):126-129. doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.17.032

5-氨基乙酰丙酸浸种对 NaCl 胁迫下酸枣种子萌发及芽苗生理特性的影响

李芳芳¹, 赵宝龙^{1,2}, 李汉钊¹, 张国儒¹, 孙军利^{1,2}

(1. 石河子大学农学院,新疆石河子 832000; 2. 特色果蔬栽培生理与种质资源利用兵团重点实验室,新疆石河子 832000)

摘要:以酸枣种子为试材,研究外源 5-氨基乙酰丙酸(ALA)浸种对 NaCl 胁迫下酸枣种子发芽率(GR)、发芽势(GE)、发芽指数(GI)、活力指数(VI)及芽苗中超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)活性和丙二醛(MDA)含量的影响。结果表明,NaCl 处理浓度为 50 mmol/L 时,50、150 mg/L ALA 浸种处理的种子 GR、GE 及芽苗中 CAT、POD 活性与对照(清水处理)相比差异不显著($P > 0.05$),GI、VI 有显著下降($P < 0.05$),100 mg/L ALA 浸种的芽苗 CAT、POD、SOD 活性有显著升高($P < 0.05$),MDA 含量有明显降低;NaCl 处理浓度为 100 mmol/L 时,150 mg/L ALA 浸种的酸枣芽苗 CAT、SOD、POD 活性及 MDA 含量与对照相比差异不显著($P > 0.05$),而 50、100 mg/L ALA 浸种处理的种子 GR、GE、GI、VI 与对照相比有显著降低($P < 0.05$),CAT、POD、SOD 活性差异不显著($P > 0.05$)。因此,ALA 浸种可以提高酸枣种子及芽苗的抗盐能力,50 mmol/L NaCl 胁迫下 100 mg/L ALA 浸种效果相对最好。

关键词:5-氨基乙酰丙酸(ALA);酸枣;NaCl 胁迫;种子萌发;芽苗

中图分类号:S665.101 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2018)17-0126-04

5-氨基乙酰丙酸(5-aminolevulinic acid,简称 ALA)别称 δ -氨基酮戊酸,是叶绿素等四吡咯环色素形成的直接前体^[1],是一种广泛存在于动植物体内的化合物,被看作是能调节植物生长的新型调节物质^[2]。有研究表明,低浓度 ALA

能够调节植物生长发育,提高其抗冷性、耐盐性等^[3]。Watanabe 等认为,ALA 可以提高植物的耐盐性,这种效应可能与提高叶片的抗氧化酶活性有关^[4],但其作用机制、分子理论基础等并不十分清楚^[5]。目前,新疆红枣的种植面积大大增加,南疆是主要种植区域,而南疆地区分布着大面积的盐碱地,在盐碱地栽植枣树,不仅影响枣果的产量和品质,且对南疆枣园建成有很大影响,而枣树的繁殖主要靠嫁接繁殖,其耐盐性取决于砧木。酸枣(*Ziziphus acidajuba* C. Y. Cheng et M. J. Liu)是常用的枣树砧木^[6],南疆地区通常以酸枣种子进行直播建园。本试验以酸枣为试材,研究不同浓度 ALA 浸种对不同浓度 NaCl 胁迫下酸枣种子发芽参数、芽苗抗氧化酶活

收稿日期:2017-03-06

基金项目:国家自然科学基金(编号:31460495,31560542);石河子大学高层次人才科研启动项目(编号:RCZX201520)。

作者简介:李芳芳(1996—),女,青海海东人,硕士研究生,从事果树逆境生理研究。E-mail:136404727@qq.com。

通信作者:孙军利,博士,副教授,从事园艺植物逆境生理研究。

E-mail:junli7656@126.com。

[3]刘长庆,李天玉,王德科,等. 生物有机肥在黄瓜上的应用效果研究[J]. 西北农业学报,2006(1):180-182.

[4]李敏,王胜楠,邵美乐,等. 生物菌肥冲施对黄瓜生长及土壤酶活性的影响[J]. 北方园艺,2015(16):153-156.

[5]吴薇,葛诚. 我国微生物肥料生产和应用现状的调查研究[J]. 微生物学通报,1995(2):104-107.

[6]孙玉良,曹齐卫,张卫华,等. 微生物菌肥对黄瓜幼苗生长及生理特性的影响[J]. 西北农业学报,2012,21(2):132-136.

[7]黄芳,张春英. 微生物菌肥对垃圾封场土中红叶石楠生长的影响[J]. 西北林学院学报,2014,29(2):160-164.

[8]魏保国,王明友. 生物菌肥对设施连作番茄生长及产量和品质的影响[J]. 北方园艺,2014(2):172-175.

[9]Gurrutxaga M, Lozano P J, Barrio G D. GIS-based approach for incorporating the connectivity of ecological networks into regional planning[J]. Journal for Nature Conservation, 2010, 18:318-326.

[10]曲春香,沈颂东,王雪峰,等. 用考马斯亮蓝测定植物粗提液中可溶性蛋白质含量方法的研究[J]. 苏州大学学报(自然科学版),2006,22(2):82-85.

[11]刘海英,王华华,崔长海,等. 可溶性糖含量测定(蒽酮法)实验的改进[J]. 实验室科学,2013,16(2):19-20.

[12]周益权,顾小平,吴晓丽,等. 丛生竹秆基各笋目的出笋成竹生物学特性研究[J]. 林业科学研究,2011,24(3):314-320.

[13]吉增宝,王进鑫,李继文,等. 不同季节干旱及复水对刺槐幼苗可溶性糖含量的影响[J]. 西北植物学报,2009,29(7):1358-1363.

[14]Patterson T G, Mass D N, Brun W A. Enzymatic changes during the senescence of field-grown wheat[J]. Crop Science, 1980, 20(1):15-18.

[15]段巍巍,赵红梅,郭程瑾,等. 夏玉米光合特性对氮素用量的反应[J]. 作物学报,2007,33(6):949-954.

[16]崔勤,李新丽,翟淑芝,等. 小麦叶片叶绿素含量测定的分光光度计法[J]. 安徽农业科学,2006(10):2063.

[17]林代炎,姚宝全,翁伯琦,等. ¹⁵N 示踪法研究复混生物肥对水稻肥效及其对茬后土壤速效养分的影响[J]. 核农学报,2005,19(5):379-381.

[18]蔡雅桥,许德琼,陈松,等. 配方施肥对钩栗生长和生理特性的影响[J]. 中南林业科技大学学报,2016,36(3):33-37.

性及丙二醛含量的影响,探索 ALA 对盐胁迫下酸枣种子萌发的生理调控作用,以提高酸枣种子的发芽率及抗性,为酸枣生产栽培及直播建园提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

ALA,由美国 Sigma 公司提供。酸枣种子,由陕北榆林佳县提供。

1.2 试验设计

试验于 2016 年 4—7 月进行。酸枣种子消毒,均匀摆放在衬有滤纸的玻璃培养皿中;分别加入 0、50、100、150 mg/L ALA 溶液 20 mL,置于宁波江南仪器厂产 RXZ 智能型人工气候箱内 26 ℃ 黑暗浸种培养 24 h;取出,用蒸馏水清洗种子及培养皿,将清洗的种子重新摆放在衬有滤纸的培养皿中,分别加入 0、50、100 mmol/L NaCl 溶液 10 mL,人工气候箱内 26 ℃ 黑暗培养,并定时补充蒸发掉的水分。处理过程中,ALA 浓度由低到高依次记为 A0、A1、A2、A3,NaCl 浓度由低到高依次记为 Na0、Na1、Na2,共计 12 个处理(表 1),其中以清水处理为对照。每处理重复 3 次,以胚根达到种子直径的 1/2 标志为萌芽,NaCl 溶液处理后 3~15 d 统计种子发芽情况;处理后 15 d 由于大部分子叶展平,真叶露出,发芽试验结束,测定抗氧化酶活性及丙二醛含量。

表 1 ALA 和 NaCl 对酸枣种子进行浸种处理的不同组合

ALA 处理	NaCl 处理		
	Na0	Na1	Na2
A0	Na0A0 (CK)	Na1A0	Na2A0
A1	Na0A1	Na1A1	Na2A1
A2	Na0A2	Na1A2	Na2A2
A3	Na0A3	Na1A3	Na2A3

1.3 测定内容及方法

1.3.1 种子发芽参数的测定 发芽率(GR)、发芽势(GE)、发芽指数(GI)、活力指数(VI)计算公式分别为:

$$\text{发芽率} = \text{处理后 15 d 发芽种子数} / \text{供试种子数} \times 100\%;$$

$$\text{发芽势} = 7 \text{ d 内发芽种子数} / \text{供试种子数} \times 100\%;$$

$$\text{发芽指数} = \sum (G_i / D_i);$$

$$\text{活力指数} = S \times \sum (G_i / D_i)。$$

式中, G_i 为时间 t 的发芽数(粒); D_i 为相应的发芽时间(d); S 为芽苗的鲜质量(g)。

1.3.2 抗氧化酶活性及丙二醛含量的测定 超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)活性的测定参照 Li 等的方法^[7]进行,酶活性以 U/g 表示;丙二醛(MDA)含量采用硫代巴比妥酸法(TBA)^[8]测定,以 nmol/g 表示。

1.4 数据处理与分析

采用 Excel 2003、Origin 75、SPSS 19 软件对数据进行整理、制图和方差分析,采用最小显著差法(LSD法)进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同浓度 ALA 浸种对酸枣种子发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数的影响

由表 2 可知,0 mg/L ALA 浸种时,随 NaCl 处理浓度的升

高,酸枣种子的 GR、GE、GI、VI 呈下降趋势;与 0 mg/L ALA 浸种相比,50、100、150 mg/L ALA 浸种处理能不同程度提高酸枣种子的 GR、GE、GI、VI;NaCl 处理浓度为 0 mmol/L 时,50 mg/L ALA 浸种(Na0A1)的酸枣种子 GE 较对照处理提高 34.58%,100、150 mg/L ALA 浸种(Na0A2、Na0A3)的酸枣种子 GE 与对照相比差异不显著($P < 0.05$);NaCl 处理浓度为 50 mmol/L 时,50、100 mg/L ALA 浸种(Na1A1、Na1A2)的酸枣种子 GR、GE 分别为对照的 98.64%、94.55% 和 101.11%、94.60%,与对照相比差异不显著($P > 0.05$);NaCl 处理浓度为 100 mmol/L 时,50、100 mg/L ALA 浸种(Na2A1、Na2A2)的种子 GR、GE、GI、VI 较对照显著下降 28.73%、61.82%、60.07%、80.27% 和 17.79%、54.55%、59.31%、78.12% ($P < 0.05$),150 mg/L ALA 浸种(Na2A3)的种子 GR 较对照下降 16.44%,差异不显著($P > 0.05$),GE、GI、VI 分别较对照显著下降 45.45%、52.93%、71.47% ($P < 0.05$);NaCl 处理浓度为 50 mmol/L 时,随 ALA 浓度的增加,酸枣种子 GR、GE、GI、VI 呈先增加后下降趋势,NaCl 处理浓度为 100 mmol/L 时,随 ALA 浓度的增加,酸枣种子 GR、GE、GI、VI 呈增加趋势;同一 NaCl 浓度胁迫下,不同浓度 ALA 浸种可以提高酸枣种子的 GR、GE、GI、VI;在 50、100 mmol/L NaCl 胁迫下,GI、VI 较对照有显著降低($P < 0.05$),表明 NaCl 胁迫会降低酸枣种子的发芽整齐度,降低芽苗鲜质量。

2.2 不同浓度 ALA 浸种对 NaCl 胁迫下酸枣芽苗抗氧化酶活性及丙二醛含量的影响

2.2.1 过氧化氢酶(CAT)活性 由图 1 可知,NaCl 处理浓度为 0 mmol/L 时,50、100、150 mg/L ALA 浸种(Na0A1、Na0A2)的酸枣芽苗 CAT 活性较对照分别增加 34.20%、31.42%、7.57%,相互间差异不显著($P > 0.05$);NaCl 处理浓度为 50 mmol/L 时,50 mg/L ALA 浸种(Na1A1)的酸枣芽苗 CAT 活性与对照相比差异不显著($P > 0.05$),100 mg/L ALA 浸种(即 Na1A3)的酸枣芽苗 CAT 活性较对照显著提高 54.32% ($P < 0.05$);NaCl 处理浓度为 100 mmol/L 时,不同浓度 ALA 浸种的酸枣芽苗 CAT 活性与对照相比均有提高,但相互间差异不显著($P > 0.05$),其中 150 mg/L ALA 浸种(Na2A3)的酸枣芽苗 CAT 活性较对照明显提高 38.30%。不同浓度 NaCl 胁迫下宜选择不同浓度的 ALA 进行浸种,整体而言,适宜的 ALA 浓度随 NaCl 浓度的升高而增大。

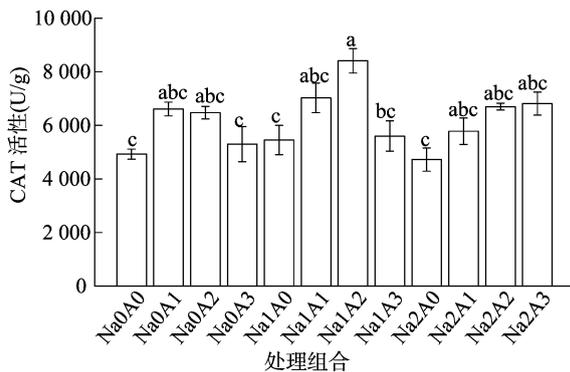
2.2.2 过氧化物酶(POD)活性 由图 2 可知,NaCl 处理浓度为 0 mmol/L 时,随 ALA 浸种浓度的增大,芽苗 POD 活性呈先升高后降低趋势,但与对照相比差异不显著($P > 0.05$);NaCl 处理浓度为 50 mmol/L 时,50、150 mg/L ALA 浸种(Na1A1、Na1A2)的芽苗 POD 活性与对照相比差异不显著,100 mg/L ALA 浸种(Na1A3)的芽苗 POD 活性较对照显著增加 49.67% ($P < 0.05$);NaCl 处理浓度为 100 mmol/L 时,50、100、150 mg/L ALA 浸种的芽苗 POD 活性较对照有所提高,但相互间差异不显著($P > 0.05$)。NaCl 胁迫下,适宜的 ALA 浓度可有效提高酸枣芽苗的 POD 活性,其抗氧化能力提高。

2.2.3 超氧化物歧化酶(SOD)活性 由图 3 可知,随着 NaCl 处理浓度的升高,芽苗 SOD 活性多呈先增加后减小趋势;NaCl 处理浓度为 0 mmol/L 时,50 mg/L ALA 浸种(Na0A1)的芽苗 SOD 活性较对照显著增加 33.70% ($P < 0.05$),100、

表2 ALA 浸种对 NaCl 胁迫下酸枣种子芽率、发芽势、发芽指数、活力指数的影响

处理	发芽率 GR (%)	发芽势 GE (%)	发芽指数 GI (个/d)	活力指数 VI
Na0A0	81.10 ± 1.91ab	61.10 ± 1.71bc	32.93 ± 2.27a	135.30 ± 6.00a
Na0A1	83.90 ± 5.09a	82.23 ± 2.25a	34.91 ± 2.49a	158.40 ± 6.32a
Na0A2	80.00 ± 1.99abc	74.47 ± 1.68ab	34.29 ± 2.32a	140.45 ± 6.57a
Na0A3	80.00 ± 1.99abc	71.13 ± 1.67abc	33.03 ± 1.05a	126.10 ± 4.42a
Na1A0	75.57 ± 7.74abc	43.30 ± 1.46d	20.13 ± 2.50bc	63.80 ± 3.06bc
Na1A1	80.00 ± 6.70abc	57.77 ± 3.52cd	22.86 ± 0.15b	83.20 ± 4.42b
Na1A2	84.43 ± 8.36a	57.80 ± 0.74cd	23.81 ± 1.69b	84.40 ± 1.61b
Na1A3	77.77 ± 7.74abc	56.70 ± 2.66cd	22.72 ± 1.77b	80.30 ± 5.34b
Na2A0	53.37 ± 1.55e	17.77 ± 3.31e	10.36 ± 1.38d	24.20 ± 3.49d
Na2A1	57.80 ± 1.91de	23.33 ± 0.36e	13.15 ± 1.44d	26.40 ± 0.58cd
Na2A2	66.67 ± 3.35cde	27.77 ± 1.08e	13.40 ± 1.16d	29.60 ± 7.07cd
Na2A3	67.77 ± 5.08bcd	33.33 ± 1.35e	15.50 ± 2.81cd	38.60 ± 1.37cd

注:同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$)。



柱形图上标注不同小写字母表示处理间差异显著。下图同

图1 不同浓度 ALA 浸种对 NaCl 胁迫下酸枣芽苗 CAT 活性的影响

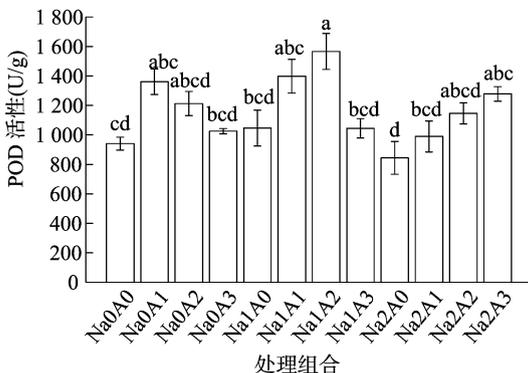


图2 不同浓度 ALA 浸种对 NaCl 胁迫下酸枣芽苗 POD 活性的影响

150 mg/L ALA 浸种的芽苗 SOD 活性与对照相比有所增加,但差异不显著($P > 0.05$);NaCl 处理浓度为 50 mmol/L 时,0、150 mg/L ALA 浸种的芽苗 SOD 活性与对照相比差异不显著($P > 0.05$),50、100 mg/L ALA 浸种的芽苗 SOD 活性分别较对照显著增加 36.97%、57.59%;NaCl 处理浓度为 100 mmol/L 时,0 mg/L ALA 浸种的芽苗 SOD 活性显著低于对照($P < 0.05$),50、100、150 mg/L ALA 浸种的芽苗 SOD 活性与对照相比差异不显著($P > 0.05$)。可见,随着盐浓度的增加,芽苗中的 SOD 活性被抑制,经过 ALA 浸种可不同程度

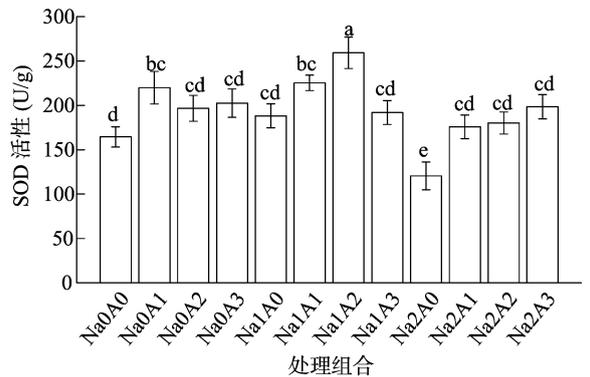


图3 不同浓度 ALA 浸种对 NaCl 胁迫下酸枣芽苗 SOD 活性的影响

提高其 SOD 活性,其中低浓度 NaCl 胁迫下 ALA 浸种相对更为有效。

2.2.4 丙二醛(MDA)含量 由图 4 可知,不使用 ALA 浸种处理,随着盐浓度的增加,酸枣芽苗 MDA 含量呈增加趋势,采取 ALA 浸种可使酸枣芽苗 MDA 含量下降;NaCl 处理浓度为 0 mmol/L 时,随着 ALA 浓度的升高,芽苗 MDA 含量呈增加趋势,50、100 mg/L ALA 浸种的芽苗 MDA 含量与对照相比差异不显著,150 mg/L ALA 浸种的显著高于对照($P < 0.05$);NaCl 处理浓度为 50 mmol/L 时,0、150 mg/L ALA 浸种的芽苗 MDA 含量分别较对照显著增加 36.67%、32.79% ($P < 0.05$),50 mg/L ALA 浸种的芽苗 MDA 含量比对照下降 3.19%,与对照相比差异不显著;NaCl 处理浓度为 100 mmol/L 时,0 mg/L ALA 浸种的芽苗 MDA 含量比对照显著增加 57.19% ($P < 0.05$),100、150 mg/L ALA 浸种的芽苗 MDA 含量与对照相比差异不显著。因此,高浓度 NaCl 胁迫可使芽苗中的氧自由基含量大大增加,而施用外源 ALA 可以缓解细胞膜受到盐害。

3 结论与讨论

不同植物在盐胁迫下对盐环境的适应程度不一样,同一植物在不同生长阶段对盐环境的适应性也会有所差异。种子萌发期是植物生长过程中对盐环境十分敏感的时期^[9],这一时期种子对环境的适应能力决定植物是否能够成功建苗,盐

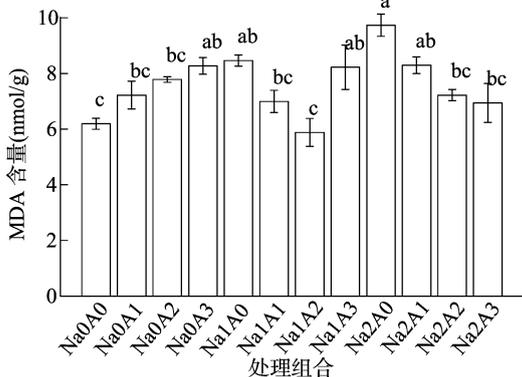


图4 不同浓度ALA浸种对NaCl胁迫下酸枣芽苗MDA含量的影响

渍地区植物是否能够正常生长发育,萌发期种子的耐盐性至关重要^[10]。本试验结果表明,ALA浸种能不同程度提高50、100 mmol/L NaCl胁迫下酸枣种子的发芽率(GR)、发芽势(GE)、发芽指数(GI)、活力指数(VI),酸枣种子的耐盐性增强,促进了酸枣种子的萌发和生长,其中,50 mmol/L NaCl胁迫下,100 mg/L ALA浸种处理的酸枣种子GR、GE、GI、VI达到峰值,这与张春平等的研究结论^[11]较为吻合。随着盐浓度增加,ALA可以提高NaCl胁迫下种子的发芽率,但种子发芽不整齐。因此,在不同浓度NaCl胁迫下选择适宜浓度的ALA是研究重点。

ALA缓解盐胁迫可能与提高渗透调节能力、保护酶活性和抑制膜质过氧化有关,而其提高植物的抗氧化酶活性可能与其转化为亚铁血红素(Heme)有关^[12]。Heme作为过氧化物酶的辅基普遍存在于POD、CAT中,ALA是Heme的合成前体,外源ALA可促进Heme的合成,从而提高了植物的抗氧化酶活性。燕飞研究认为,维持质膜结构的稳定性与ALA通过诱导或者合成积累一定的渗透调节物质有关,从而保证细胞功能的正常运行^[13]。本试验中,NaCl处理浓度为0 mmol/L时,50 mg/L ALA浸种可明显提高酸枣芽苗的CAT、POD、SOD活性,150 mg/L ALA处理的酸枣芽苗CAT、POD、SOD活性有所下降,接近于清水处理(对照),这说明高浓度ALA浸种对不同盐胁迫处理酸枣芽苗抗氧化酶活性的影响有异,可能与高浓度ALA浸种反而减缓Heme的合成有关;ALA浸种对盐胁迫下酸枣种子的芽苗生长抑制起到一定的缓解作用,这与刘晖等的研究结果^[14]一致。

MDA是脂质过氧化作用的产物,其含量可以间接反映膜系统受损程度及植物的抗逆性^[15-16]。本研究表明,在不使用ALA浸种处理的条件下,随着NaCl处理浓度的升高,MDA含量呈上升趋势;盐胁迫下,高浓度ALA浸种有时反而会使芽苗中的MDA含量增加,这与王魏等的研究结果^[17]相似,可能与品种自身的耐盐性有关。

ALA浸种可提高酸枣种子活力,促进芽苗的抗氧化酶活性,为细胞内氧自由基的清除提供了有力条件,减缓了其对细胞膜的伤害^[18]。南疆地区枣园多为直播建园,为缓解NaCl对酸枣种子造成的伤害,可以采用适宜浓度ALA(100 mg/L)对酸枣种子进行预处理,在提高酸枣种子发芽率的同时降低

土壤盐分对种子的伤害。

参考文献:

- [1] Porra R J. Recent progress in porphyrin and chlorophyll biosynthesis [J]. *Photochemistry and Photobiology*, 1997, 65(3): 492-516.
- [2] Bindu R C, Vivekanandan M. Hormonal activities of 5-aminolevulinic acid in callus induction and micropropagation [J]. *Plant Growth Regulation*, 1998, 26: 15-18.
- [3] Castelfranco P A, Beale S I. Chlorophyll biosynthesis: recent advances and areas of current interest [J]. *Annual Review of Plant Physiology*, 1983, 34(1): 241-276.
- [4] Watanabe K, Tanaka T, Hotta Y, et al. Improving salt tolerance of cotton seedlings with 5-aminolevulinic acid [J]. *Plant Growth Regulation*, 2000, 32(1): 97-101.
- [5] 宋士清, 郭世荣. 5-氨基乙酰丙酸的生理作用及其在农业生产中的应用(综述) [J]. *河北科技师范学院学报*, 2004, 18(2): 54-57, 72.
- [6] 刘孟军. 寒属植物分类学研究进展——文献综述 [J]. *园艺学报*, 1999, 26(5): 302-308.
- [7] 李璟, 胡晓辉, 郭世荣, 等. 待外源亚精胺对根际低氧胁迫下黄瓜幼苗根系多胺含量和抗氧化酶活性的影响 [J]. *植物生态学报*, 2006, 30(1): 118-123.
- [8] 胡晓辉, 杜灵娟, 邹志荣. Spd浸种对盐胁迫下番茄幼苗的保护效应. *生态学报*, 2009, 29(9): 5152-5157.
- [9] Alkhatib M, Neneily T, Collinsj C. The potential of selection and breeding for improved salt tolerance in lucerne (*Medicago sativa* L.) [J]. *Euphytica*, 1993, 65: 43-51.
- [10] Almansouri M, Kinet J M, Lutts S. Effect of salt and osmotic stress on germination in durum wheat (*Triticum durum* Desf.) [J]. *Plant and Soil*, 2001, 231(2): 243-254.
- [11] 张春平, 何平, 韦品祥, 等. 外源5-氨基乙酰丙酸对盐胁迫下紫苏种子萌发及幼苗抗氧化酶活性的影响 [J]. *中草药*, 2011, 42(6): 1194-1200.
- [12] Wang L J, Jiang W B, Liu H, et al. Promotion by 5-aminolevulinic acid of germination of pakchoi (*Brassica campestris* ssp. *chinensis* var. *communis* Tsen et Lee) seeds under salt stress [J]. *Journal of Integrative Plant Biology*, 2005, 47(9): 1084-1091.
- [13] 燕飞. 外源5-氨基乙酰丙酸(ALA)对盐胁迫下黄瓜幼苗生理调控效应研究 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2014.
- [14] 刘晖, 康琅, 汪良驹. ALA对盐胁迫下西瓜种子萌发的促进效应 [J]. *果树学报*, 2006, 23(6): 854-859.
- [15] 胡晓辉, 杜灵娟, 邹志荣. Spd浸种对盐胁迫下番茄(*Solanum lycopersicum*)幼苗的保护效应 [J]. *生态学报*, 2009, 29(9): 5152-5157.
- [16] 苏桐, 魏小红, 丁学智, 等. 外源NO与蔗糖对盐胁迫下番茄(*Lycopersicon esculentum* Mill.)幼苗氧化损伤的保护效应 [J]. *生态学报*, 2008, 28(4): 1558-1564.
- [17] 王魏, 邹志荣, 乔飞, 等. 外源ALA对NaCl胁迫下菠菜生理特性的影响 [J]. *西北农业学报*, 2008, 17(1): 137-141, 156.
- [18] 赵艳艳, 胡晓辉, 邹志荣, 等. 不同浓度5-氨基乙酰丙酸(ALA)浸种对NaCl胁迫下番茄种子发芽率及芽苗生长的影响 [J]. *生态学报*, 2013, 33(1): 62-70.