

张爱慧,冷欣兰,袁颖辉,等. 5-ALA 对 NaCl 胁迫下丝瓜幼苗生长及生理特性的影响[J]. 江苏农业科学,2023,51(13):137-141.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.13.021

# 5-ALA 对 NaCl 胁迫下丝瓜幼苗生长及生理特性的影响

张爱慧,冷欣兰,袁颖辉,任慧玲,陈雪琼,朱士农

(金陵科技学院园艺园林学院,江苏南京 210038)

**摘要:**以江蔬一号丝瓜为材料,研究 100 mmol/L NaCl 胁迫下,叶面喷施和根施 5-ALA 对丝瓜幼苗生长缓解效应及其生理活性的变化。结果表明,采用 100 mmol/L NaCl 处理幼苗后,丝瓜幼苗生长缓慢,NaCl 胁迫下外源根施和叶面喷施 5-ALA,均能有效地缓解盐胁迫效应促进幼苗的生长,在此过程中丝瓜幼苗叶片中抗坏血酸过氧化物酶 (APX) 及抗坏血酸氧化酶 (AAO) 的活性明显升高;干鲜质量及谷胱甘肽含量、抗坏血酸含量明显增加,且根施效果较喷施效果好。NaCl 胁迫下外源 5-ALA 可以显著提高丝瓜幼苗叶片的 AsA 含量。因此,外源 5-ALA 通过提高丝瓜幼苗 AsA-GSH 循环的重要酶类活性,增强了幼苗的抗氧化能力,从而缓解了盐胁迫对于丝瓜幼苗的伤害。因此,生产中可以采用根施或叶面喷施 5-ALA 缓解盐渍化土壤对丝瓜生长的影响。

**关键词:**盐胁迫;丝瓜幼苗;5-ALA;APX;AAO

**中图分类号:**S642.401 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2023)13-0137-05

5-ALA 即 5-氨基乙酰丙酸 (5-aminolevulinic acid),是一种广泛存在于动物及植物体内的非蛋白型氨基酸,是植物体内天然存在的、植物生命活动必需的、代谢活跃的生理活性物质<sup>[1]</sup>。作为常见的生长调节剂,5-ALA 不仅参与植物的光合作用、呼吸作用和蒸腾作用,还具有促

进植物生长发育,提高植物抗寒性及抗盐性等抗逆作用<sup>[2]</sup>。近年来,5-ALA 在农业上的应用受到广泛关注<sup>[3]</sup>。燕飞等提出 5-ALA 能够促进高盐条件下黄瓜幼苗的生长,其效应明显超过已报道的任何一种植物激素<sup>[4]</sup>。王魏等证明了 5-ALA 对菠菜苗耐盐性的缓解效应并认为这种效应和叶片抗氧化酶活性上升有关<sup>[5]</sup>。5-ALA 在丝瓜幼苗抗逆生理方面的研究鲜有报道,本试验以江蔬一号丝瓜为材料,采用外部根施和喷施 2 种方式,研究外源 5-ALA 对一定浓度 NaCl 胁迫下丝瓜幼苗生长及叶片中酶活性的影响,比较不同浓度 5-ALA 叶面喷施和根施对丝瓜幼苗在 NaCl 胁迫下生长的缓解

收稿日期:2022-08-29

基金项目:江苏省大学生创新创业训练计划(编号:202213573096Y);

江苏省自然科学基金青年基金(编号:BK20220164);江苏省高等

学校基础学科(自然科学)研究面上项目(编号:22KJB210002)。

作者简介:张爱慧(1970—),山东巨野人,硕士,副教授,主要从事设施蔬菜栽培和生理研究。E-mail:zah@jit.edu.cn。

[10]赵子臣,梁浩,康欣娜,等. 夏季遮阳对温室能量平衡及辣椒生长和品质的影响[J]. 北方园艺,2022(4):51-55.

[11]余楚英,尹延旭,王飞,等. 茄果类蔬菜热胁迫及耐热性研究进展[J]. 中国蔬菜,2021(4):27-40.

[12]王学奎,黄见良. 植物生理生化实验原理与技术[M]. 3版. 北京:高等教育出版社,2015:280-281.

[13]王少先. 高温与生长调节物质对辣椒花粉生活力的影响[J]. 河南农业科学,1997,26(12):23-25.

[14]韩笑冰,利容千,王建波. 热胁迫下萝卜不同耐热性品种细胞组织结构比较[J]. 武汉植物学研究,1997,15(2):173-178,197.

[15]徐剑锋. 甜椒耐热机理及热胁迫下生理、生化变化的研究[D]. 福州:福建农林大学,2003:33-36.

[16]丁亚东,舒黄英,高崇伦,等. 中国辣椒热激蛋白 HSP70 基因家族分析[J]. 植物科学学报,2021,39(2):152-162.

[17]Huang L J, Cheng G X, Khan A, et al. CaHSP16.4, a small heat

shock protein gene in pepper, is involved in heat and drought tolerance[J]. Protoplasma, 2019, 256(1):39-51.

[18]马子竣,孙继英,汝甲荣,等. 不同定植时期对大豆生长及产量的影响[J]. 黑龙江农业科学,2020,43(4):7-10.

[19]李彩雄,张志坚,钟运源. 夏季辣椒病害症状及防治措施[J]. 现代农业科技,2010(23):175,179.

[20]Khah E M, Passam H C. Flowering, fruit set and development of the fruit and seed of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) cultivated under conditions of high ambient temperature [J]. Journal of Horticultural Science, 1992, 67(2):251-258.

[21]Polowick P L, Sawhney V K. Temperature effects on male fertility and flower and fruit development in *Capsicum annuum* L. [J]. Scientia Horticulturae, 1985, 25(2):117-127.

[22]马德华,庞金安,李淑菊. 高温对辣椒幼苗叶片某些生理作用的影响[J]. 天津农业科学,1999,5(3):8-10.

效应,探讨其提高丝瓜耐盐性的机制,为外源 5-ALA 在丝瓜生产中的应用提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

5-ALA 购自国药集团化学试剂有限公司。江蔬一号丝瓜种子由江苏省农业科学院蔬菜研究所友情提供。

### 1.2 试验方法

本试验于 2020 年 3 月至 2021 年 9 月在金陵科技学院园艺实验站进行。将露白的丝瓜种子播于 50 孔的穴盘中(育苗基质为蛭石、泥炭、珍珠岩,体积比为 2:2:1),播种后覆膜保墒。待丝瓜出苗后去除薄膜,进行常规管理。当幼苗 2~3 张真叶时,选取健壮的幼苗,洗净根系,定植于盛有 1/2 Hoaland 营养液的水培箱中<sup>[6]</sup>。

丝瓜缓苗后于 NaCl 处理前 1 d 傍晚进行 5-ALA 预处理,根施处理:用少许 95% 乙醇将 5-ALA 溶解后,置于水培箱中,使营养液中 5-ALA 浓度为 20 mg/L;叶面喷施处理:配制 50 mg/L ALA 并加入 0.01% 吐温-20 作展着剂喷施丝瓜幼苗叶片,使其叶片上下表面均附着溶液。

5-ALA 预处理后进行如下处理:(1)CK(对照),1/2 Hoaland 营养液栽培;(2)处理 T1:营养液+100 mmol/L NaCl;(3)处理 T2:营养液+100 mmol/L NaCl+20 mg/L 5-ALA(根施);处理 T3:营养液+100 mmol/L NaCl+50 mg/L 5-ALA(叶面喷施)。

### 1.3 生长及生理指标测定方法

(1)干鲜质量测定:分别于处理 0、2、4、6、8 d 任取不同处理的丝瓜幼苗 3 株。用清水洗净,吸干表面水分,称量地上部和地下部鲜质量,取平均值为单株鲜质量(g)<sup>[6]</sup>。然后置于烘箱中在 105 ℃ 高温下杀青 15 min,再将温度调至 75 ℃ 烘至恒质量。称其质量,即为单株干质量(g)。

(2)生理指标测定:分别于处理 0、4、8 d 取生长点下第 2~3 张展开叶进行相关指标测定。谷胱甘肽(GSH)含量、抗坏血酸(AsA)含量、抗坏血酸过氧化物酶(APX)、抗坏血酸氧化酶(AAO)、谷胱甘肽还原酶(GR)及脱氢抗坏血酸还原酶(DHAR)活性均采用南京建成生物工程研究所提供的试剂盒测定<sup>[6]</sup>。

### 1.4 数据分析

试验结果均采用 Excel 和 SAS 软件 Duncan's 多

重比较法( $\alpha=0.05$ )进行统计分析<sup>[6]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 5-ALA 对 NaCl 胁迫下丝瓜幼苗干鲜质量的影响

由表 1 可知,经过 100 mmol/L NaCl 处理后的幼苗随着处理时间的延长,采用根施或叶面喷施 5-ALA 的处理,均能有效缓解丝瓜幼苗的 NaCl 胁迫伤害。试验表明,100 mmol/L NaCl 胁迫处理 2 d 时,处理 T2、T3 地上部及地下部干物量、鲜质量均显著高于处理 T1,T2 和 T3 处理间差异不显著。而 NaCl 胁迫处理 4 d 时,T2 处理的地上部及地下部鲜质量分别较处理 T1 提高了 39.5%、23.1%,干质量分别提高了 18.8%、27.6%;处理 T3 地上部干鲜质量和地下部干质量显著高于 T1,地下部鲜质量与 T1 相比差异不显著。处理 6 d 时,T2、T3 地上及地下部干、鲜质量均显著高于 T1,其中 T2 地上部鲜干质量及地下部鲜干质量较 T1 分别提高了 60.4%、48.2%、28.2%和 20.4%,T3 地上部鲜干质量及地下部鲜干质量较 T1 处理分别提高了 36.1%、31.5%、10.4%和 12.4%。处理 8 d 时,T2 和 T3 处理的幼苗地上部鲜干质量及地下部鲜干质量显著高于 T1。因此,5-ALA 处理前期,根施和叶面喷施处理的干鲜质量较 NaCl 胁迫有明显增加且根施效果较好;随着处理时间的延长,叶面喷施处理对缓解 NaCl 胁迫下丝瓜生长的效果减弱。

### 2.2 5-ALA 对 NaCl 胁迫下丝瓜幼苗抗坏血酸(AsA)含量的影响

随着 NaCl 处理时间的延长,不同处理下丝瓜幼苗中 AsA 含量呈逐渐增加的趋势(图 1)。处理 4 d 时,T2、T3 处理的丝瓜幼苗 AsA 含量显著高于 T1 和 CK,与 T1 相比分别提高了 29.2%和 17.1%;处理 8 d 时,T2、T3 处理的丝瓜幼苗 AsA 含量较 T1 相比显著提高,分别提高了 52.1%和 27.2%。其中,采用根施(T2)处理的效果明显优于喷施处理(T3)。

### 2.3 5-ALA 对 NaCl 胁迫下丝瓜幼苗谷胱甘肽(GSH)含量的影响

外源 5-ALA 使 NaCl 胁迫下丝瓜幼苗中谷胱甘肽的含量呈现增加的变化(图 2)。处理 4 d 时,T3 处理幼苗中谷胱甘肽的含量显著高于 T1 和 T2 处理,与 T1 相比提高了 25.1%,T1 和 T2 间差异不显著。随着 NaCl 胁迫时间的延长,各处理丝瓜幼苗中 GSH 含量呈现较大的变化,处理 8 d 时,T2 处理

表 1 外源 5-ALA 对盐胁迫下丝瓜幼苗干鲜质量的影响

时间 (d)	处理	地上部鲜质量 (g)	地上部干质量 (g)	地下部鲜质量 (g)	地下部干质量 (g)
2	CK	3.000 ± 0.010a	0.325 ± 0.001a	1.380 ± 0.020a	0.085 ± 0.001a
	T1	1.825 ± 0.012c	0.145 ± 0.005c	0.530 ± 0.050c	0.030 ± 0.001c
	T2	2.225 ± 0.018b	0.275 ± 0.009b	0.980 ± 0.008b	0.078 ± 0.002b
	T3	2.160 ± 0.012b	0.269 ± 0.006b	0.940 ± 0.013b	0.071 ± 0.003b
4	CK	4.907 ± 0.210a	0.525 ± 0.010a	2.111 ± 0.080a	0.158 ± 0.005a
	T1	3.019 ± 0.010d	0.383 ± 0.007d	1.482 ± 0.015c	0.098 ± 0.002c
	T2	4.213 ± 0.030b	0.455 ± 0.015b	1.824 ± 0.019b	0.125 ± 0.005b
	T3	3.599 ± 0.110c	0.416 ± 0.017c	1.603 ± 0.170bc	0.112 ± 0.002b
6	CK	6.078 ± 0.062a	0.709 ± 0.003a	2.805 ± 0.093a	0.174 ± 0.045a
	T1	3.087 ± 0.083d	0.413 ± 0.006c	1.790 ± 0.025d	0.137 ± 0.002c
	T2	4.952 ± 0.079b	0.612 ± 0.011b	2.295 ± 0.135b	0.165 ± 0.015ab
	T3	4.201 ± 0.027c	0.543 ± 0.015b	1.977 ± 0.065c	0.154 ± 0.003b
8	CK	7.787 ± 0.085a	0.837 ± 0.012a	3.351 ± 0.050a	0.239 ± 0.012a
	T1	4.853 ± 0.060c	0.586 ± 0.024c	2.343 ± 0.030b	0.176 ± 0.007c
	T2	5.943 ± 0.012b	0.754 ± 0.042b	3.223 ± 0.120a	0.206 ± 0.005b
	T3	5.727 ± 0.070b	0.681 ± 0.004b	3.107 ± 0.010a	0.193 ± 0.002b

注:同栏同列数据后不同小写字母表示不同处理间差异显著( $P < 0.05$ )。

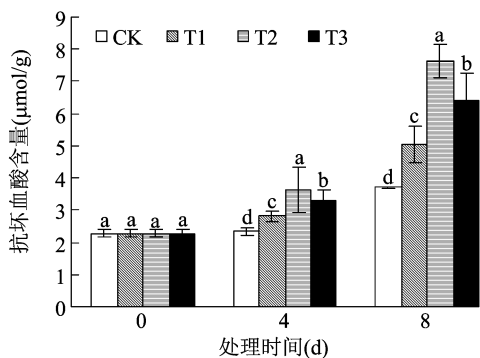


图 1 5-ALA 对 NaCl 胁迫下丝瓜幼苗 AsA 含量的影响

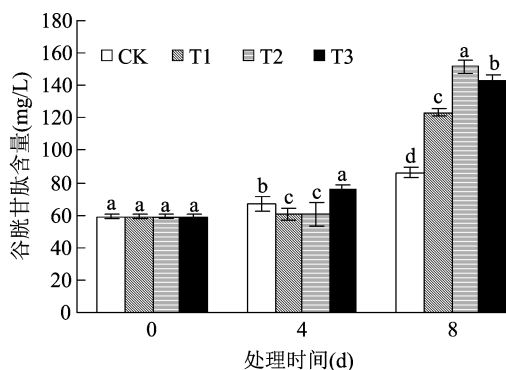


图 2 外源 5-ALA 对盐胁迫下丝瓜幼苗谷胱甘肽含量的影响

GSH 含量最高, T2 和 T3 处理 GSH 含量均显著高于 T1 处理, 与 T1 相比分别提高了 76.0% 和 65.9%。从试验结果可以看出, 外源 5-ALA 可以提高 NaCl 胁迫下丝瓜幼苗叶片中的谷胱甘肽含量, 根施 5-ALA 的效果显著高于喷施处理。

## 2.4 5-ALA 对 NaCl 胁迫下丝瓜幼苗抗坏血酸过氧化物酶 (APX) 活性的影响

由图 3 可知, NaCl 胁迫下丝瓜幼苗 APX 活性升高, 且随着 NaCl 处理时间的延长, 各处理丝瓜幼苗的 APX 活性均不同程度的提高。处理 4 d 时, T2、T3 处理与 T1 处理相比 APX 活性分别提高了 29.1% 和 22.0%; 处理 8 d 时, APX 活性变化趋势与处理 4 d 时相似, T2、T3 处理 APX 活性均显著高于 T1, 但 T2、T3 处理间差异不显著。这说明随着 NaCl 胁迫时间的延长, 外源 5-ALA 可以提高盐胁迫下丝瓜幼苗的抗坏血酸过氧化物酶活性, 且根施和喷施的效果差异不明显。

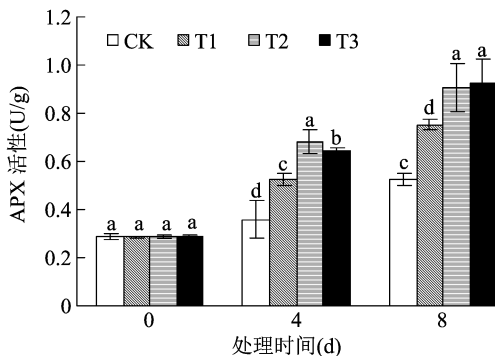


图 3 5-ALA 对 NaCl 胁迫下丝瓜幼苗 APX 活性影响

## 2.5 5-ALA 对盐胁迫下丝瓜幼苗抗坏血酸氧化酶 (AAO) 活性的影响

如图 4 所示, NaCl 胁迫后丝瓜幼苗 AAO 活性

总体上呈现升高的趋势,但处理初期变化规律不明显。随着胁迫时间的延长,各处理活性均有所提高。处理 4 d 时,各处理 AAO 活性均高于 CK;NaCl 胁迫 8 d 时,T2、T3 丝瓜幼苗 AAO 活性显著高于 T1,与 T1 相比分别提高了 27.2% 和 23.6%,但二者间差异不显著。这说明,随着盐胁迫时间的延长,外源 5-ALA 能提高 NaCl 胁迫下抗坏血酸氧化酶的活性,且根施和喷施的效果差异不大。

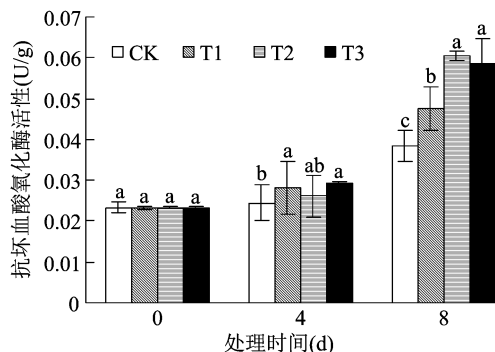


图4 5-ALA 对 NaCl 胁迫下丝瓜幼苗抗坏血酸氧化酶(AAO)活性的影响

## 2.6 5-ALA 对 NaCl 胁迫下丝瓜幼苗谷胱甘肽还原酶 (GR) 活性的影响

由图 5 可知,5-ALA 对 NaCl 胁迫 GR 的活性具有一定的影响,NaCl 胁迫 4 d 时,各处理丝瓜幼苗 GR 的活性提高,但没有达到显著性差异;处理 8 d 时,T2 处理 GR 的活性最高,其次为 T3 处理,二者均显著高于 T1,与 T1 相比 GR 活性分别提高了 74.5% 和 50.4%。根施 5-ALA 处理及喷施 5-ALA 处理较单独盐处理分别提高了 91.0% 和 72.4%。

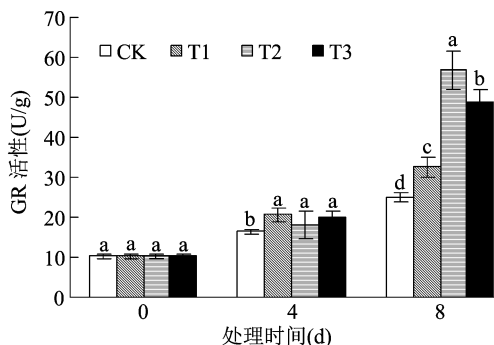


图5 外源 5-ALA 对盐胁迫下丝瓜幼苗谷胱甘肽还原酶 (GR)活性的影响

## 2.7 5-ALA 对盐胁迫下丝瓜幼苗脱氢抗坏血酸还原酶 (DHAR) 活性的影响

抗坏血酸还原酶 (DHAR) 是植物体内一种重要的抗氧化酶,丝瓜幼苗 DHAR 活性随着 NaCl 胁迫

时间延长而不断提高 (图 6)。处理 4 d 时,各处理 DHAR 活性均有所提高,其中 T3 处理 DHAR 活性最高,T1、T2 处理间差异不显著;NaCl 处理 8 d 时,T3 处理 DHAR 活性最高,其次为 T2、T1,T2、T3 处理显著高于 T1,与 T1 相比分别提高了 38.1% 和 52.7%,且喷施 5-ALA 处理活性明显高于根施 5-ALA 处理。由此可见,在 NaCl 胁迫下,外源 5-ALA 可显著提高丝瓜幼苗的 DHAR 活性,且喷施的效果比根施要好。

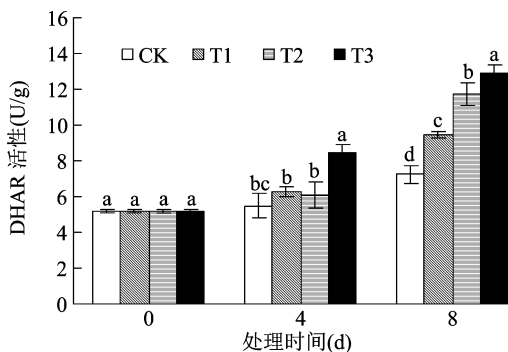


图6 5-ALA 对盐胁迫下丝瓜幼苗脱氢抗坏血酸还原酶 (DHAR)活性的影响

## 3 讨论与结论

5-氨基乙酰丙酸 (ALA) 是一种广泛存在于动植物细胞中的非蛋白类氨基酸<sup>[6]</sup>,低浓度 ALA 可以提高植物的抗逆性并可促进逆境胁迫下植物的生长<sup>[7]</sup>。本试验结果表明,随着 NaCl 胁迫时间的延长,根施 20 mg/L 和叶面喷施 50 mg/L 5-ALA 均能显著提高 NaCl 胁迫下丝瓜幼苗地上部及地下部干鲜质量,有效缓解了盐胁迫对丝瓜幼苗生长的影响,这在紫苏<sup>[8]</sup>、豌豆<sup>[9]</sup>和草莓<sup>[10]</sup>的研究中也有类似结果。

盐胁迫条件下,植物会通过增强抗氧化酶活性和提高抗坏血酸、谷胱甘肽含量等途径来缓解盐胁迫对植物细胞造成的损伤<sup>[11-12]</sup>。盐胁迫使植物生长受抑制,体内产生大量活性氧 (ROS),从而使植物次生氧化损伤<sup>[13]</sup>。AsA 和 GSH 作为重要的 ROS 清除剂,在防御膜脂过氧化中具有非常重要的作用<sup>[14]</sup>,有研究表明,一定浓度的外源 NO、茉莉酸甲酯及褪黑素均能促进 NaCl 胁迫下番茄幼苗叶片、玉米幼苗还原型抗坏血酸 (AsA) 含量和还原型谷胱甘肽 (GSH) 含量提高<sup>[15-16]</sup>;燕飞等认为,施用外源 5-ALA 可以提高黄瓜叶片中 AsA、GSH 含量水平<sup>[4]</sup>。本研究结果表明,根施 20 mg/L 和叶面喷施

50 mg/L 5-ALA 能显著提高 NaCl 胁迫下丝瓜幼苗 AsA、GSH 含量。NaCl 胁迫 8 d 时,根施 20 mg/L 和叶面喷施 50 mg/L 5-ALA 丝瓜幼苗 AsA 含量与 NaCl 胁迫相比分别提高了 52.1% 和 27.2%,GSH 含量与 NaCl 胁迫相比提高了 76.0% 和 65.9%。逆境胁迫下 AsA、GSH 含量增加,可以维持 AsA-GSH 循环高效运转,减轻膜脂过氧化,提高丝瓜幼苗盐渍抗性。

植物受到盐胁迫后,植物体内抗氧化保护酶活性迅速升高以清除过多的活性氧,即通过增强抗氧化酶活性等途径来减少损伤<sup>[17-18]</sup>。APX、DHAR、GR、AAO 在活性氧清除过程中具有十分重要的作用,是参与 AsA-GSH 循环的重要酶类<sup>[19]</sup>。喷施适量 ALA 对甜樱桃子房和花柱 AsA-GSH 循环相关酶活性的增加有着积极的作用<sup>[19]</sup>;曹碧珍等研究表明,外源 ALA 处理显著提高了低温胁迫下枇杷叶片中抗脱氢抗坏血酸还原酶(DHAR)、谷胱甘肽还原酶(GR)和抗坏血酸过氧化物酶(APX)活性<sup>[20-21]</sup>,5-ALA 使 NaCl 胁迫下酸枣种子胚芽和胚根中的 APX、GR 活性上升<sup>[22]</sup>。本试验结果表明,外源 5-ALA 可以提高盐胁迫下丝瓜幼苗叶片中抗坏血酸过氧化物酶和抗坏血酸氧化酶活性,这与上述结论基本一致。对于抗坏血酸过氧化物酶和抗坏血酸氧化酶而言,叶面喷施 5-ALA 和根施 5-ALA 效果相当,无显著差异。此外,本研究结果表明,当处理 8 d 时,采用根施或叶面喷施 5-ALA 后能显著提高 NaCl 胁迫下丝瓜幼苗 DHAR 活性,与盐胁迫处理后相比分别提高了 38.1% 和 52.7%,并且发现喷施 5-ALA 处理活性明显高于根施 5-ALA 处理。因此,植物可能在非生物胁迫下通过调节抗坏血酸-胱甘肽循环维持植物体内抗坏血酸的代谢水平,对于保护细胞抵御氧化损伤方面发挥重要作用。外源根施 5-ALA 处理及喷施 5-ALA 处理能有效缓解 NaCl 胁迫下丝瓜幼苗的生长缓解盐胁迫对幼苗的伤害。

#### 参考文献:

- [1]徐刚,刘涛,高文瑞,等. 5-氨基乙酰丙酸对蔬菜生理作用的研究进展[J]. 金陵科技学院学报,2010,26(4):52-57.
- [2]张治平,张丽丽. 5-氨基乙酰丙酸对油菜幼苗抗冷性和抗氧化系统的影响[J]. 江苏农业科学,2014,42(2):52-55.
- [3]杨蕊. 外源 ALA 处理对盐胁迫下黄瓜的缓解效应[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2008:5-16.
- [4]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,2014:18-22.
- [5]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.
- [6]张爱慧,朱士农. 外源亚精胺对盐胁迫下丝瓜光合特性及抗氧化酶系统的影响[J]. 金陵科技学院学报,2016,32(1):72-75.
- [7]汪良驹,姜卫兵,章镇,等. 5-氨基乙酰丙酸的生物合成和生理活性及其在农业中的潜在应用[J]. 植物生理学通讯,2003,39(3):185-192.
- [8]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.
- [9]周月,徐亮,杨立,等. 外源 ALA 对盐胁迫下豌豆幼苗生理特性的影响[J]. 西南师范大学学报(自然科学版),2012,37(8):111-115.
- [10]高年春,孙永平,张琼,等. 外源 5-氨基乙酰丙酸(ALA)对 NaCl 胁迫下草莓植株光合作用的影响[J]. 江苏农业学报,2010,26(6):1329-1333.
- [11]徐晓洁,邹志荣,乔飞,等. ALA 对 NaCl 胁迫下不同品种番茄植株光合作用、保护酶活性及果实产量的影响[J]. 干旱地区农业研究,2008,26(4):131-135.
- [12]赵嫚,陈仕勇,李亚萍,等. 外源 GABA 对盐胁迫下金花菜种子萌发及幼苗抗氧化能力的影响[J]. 江苏农业学报,2021,37(2):310-316.
- [13]朱新广,王强,张其德,等. 冬小麦光合功能对盐胁迫的响应[J]. 植物营养与肥料学报,2002,8(2):177-180.
- [14]单长卷,韩蕊莲,梁宗锁. 黄土高原冰草叶片抗坏血酸和谷胱甘肽合成及循环代谢对干旱胁迫的生理响应[J]. 植物生态学报,2011,35(6):653-662.
- [15]孙德智,韩晓日,彭靖,等. 外源 NO 和 SA 对盐胁迫下番茄幼苗叶片膜脂过氧化及 AsA-GSH 循环的影响[J]. 植物科学学报,2018,36(4):612-622.
- [16]陈芳,杨双龙,张莉,等. 外源茉莉酸甲酯对盐胁迫下玉米幼苗 AsA-GSH 循环的影响[J]. 生物学通报,2021,56(11):44-48.
- [17]柳翠霞,罗庆熙,李跃建,等. 外源 5-氨基乙酰丙酸(ALA)对弱光下黄瓜生长指标及抗氧化酶活性的影响[J]. 中国蔬菜,2011(16):72-78.
- [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.
- [19]田永强,聂国伟,李凯,等. ALA 对低温胁迫下甜樱桃子房和花柱 AsA-GSH 循环的调控[J]. 中国果树,2020(2):26-30.
- [20]曹碧珍. 外源 5-氨基乙酰丙酸(ALA)对低温胁迫下枇杷叶片 AsA-GSH 循环的影响[J]. 福建农业科技,2021,52(11):7-13.
- [21]韩敏,张文娟,刘丽,等. 贮藏温度对潍县萝卜肉质根抗氧化能力的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2021,49(8):91-100.
- [22]王晓红. 不同浓度 ALA 对 NaCl 胁迫下酸枣种子发芽过程中 ASA-GSH 循环的影响[J]. 科学技术创新,2019(26):139-140.