

## 5-氨基乙酰丙酸(ALA)对盐胁迫下葡萄叶片中AsA-GSH循环的影响

赵宝龙, 刘鹏, 王文静, 孙军利\*, 马海新

石河子大学农学院, 新疆石河子832003

**摘要:**以两个耐盐程度不同的葡萄品种‘夏黑’(耐盐性较弱)和‘里扎马特’(耐盐性较强)为材料,分析了不同浓度ALA对不同浓度盐胁迫下葡萄叶片中AsA-GSH循环的影响。研究表明:喷施75 mg·L<sup>-1</sup> ALA可显著提高2 g·kg<sup>-1</sup>盐胁迫下‘夏黑’葡萄叶片中抗坏血酸过氧化物酶(APX)、谷胱甘肽还原酶(GR)、单脱氢抗坏血酸还原酶(MDHAR)、脱氢抗坏血酸还原酶(DHAR)的活性以及还原型抗坏血酸(AsA)、还原型谷胱甘肽(GSH)含量和AsA/DHA、GSH/GSSG比值,显著降低氢抗坏血酸(DHA)与氧化型谷胱甘肽(GSSG)含量;而喷施150 mg·L<sup>-1</sup> ALA可显著提高4 g·kg<sup>-1</sup>盐胁迫下‘里扎马特’葡萄叶片中APX、GR、MDHAR、DHAR的活性以及AsA、GSH含量和AsA/DHA、GSH/GSSG比值,显著降低DHA与GSSG含量。

**关键词:** 5-氨基乙酰丙酸; 盐胁迫; 葡萄; AsA-GSH循环

## Effects of 5-Aminolevulinic Acid on the AsA-GSH Cycle in Grape Leaves under Salt Stress

ZHAO Bao-Long, LIU Peng, WANG Wen-Jing, SUN Jun-Li\*, MA Hai-Xin

College of Agriculture, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832003, China

**Abstract:** Using two salinity-resistance grape cultivars: ‘Summer Black’ (weak salt resistance) and ‘Rizamat’ (strong salt resistance) as the material, effects of the different concentrations of ALA on AsA-GSH cycle under different concentrations of salt stress in grape leaves were analyzed. The results showed that spraying 75 mg·L<sup>-1</sup> ALA can significantly improve activities of ascorbic acid peroxidase (APX), glutathione reductase (GR), monodehydroascorbate reductase (MDHAR), dehydroascorbic acid reductase (DHAR) and contents of ascorbic acid (AsA) and glutathione (GSH) and AsA/DHA, GSH/GSSG ratio, significantly reduce contents of hydrogen ascorbic acid type (DHA) and oxidized glutathione (GSSG) in ‘Summer Black’ grape leaves under 2 g·kg<sup>-1</sup> salt stress. And spraying 150 mg·L<sup>-1</sup> ALA can significantly improve activities of APX, GR, MDHAR, DHAR and contents of AsA and GSH and AsA/DHA, GSH/GSSG ratio, significantly reduce contents of DHA and GSSG in ‘Rizamat’ grape leaves under 4 g·kg<sup>-1</sup> salt stress.

**Key words:** 5-aminolevulinic acid (ALA); salt stress; grape; AsA-GSH cycle

葡萄(*Vitis vinifera*)为葡萄科(Vitaceae)葡萄属落叶藤本植物,是世界上栽培最早、分布最广的果树之一(许波等1998)。新疆作为我国第一大葡萄主产区,其葡萄产量占全国总产量的23.1%,给新疆经济发展和农民的收入都起到了积极的推动作用(白桦2011)。但新疆又是土壤盐渍化比较严重的地区,据新疆维吾尔自治区农业厅的调查,新疆土地耕地中31.1%的面积受到盐碱危害,并且还有进一步扩大的趋势,严重影响葡萄产业的可持续发展。

正常情况下,植物细胞内活性氧和自由基的清除保护系统处于一种动态过程,其活性氧的产生与清除是平衡的,不会对植物造成伤害。在盐胁迫情况下,植物体内有大量的活性氧产生,膜脂

发生过氧化反应,对膜的结构和完整性造成破坏;同时,植株细胞内的抗氧化酶类和抗氧化剂非酶物质协同作用清除由盐胁迫产生的活性氧,抵御其对膜结构和完整性造成的破坏,提高植物耐盐性。其中,一部分抗氧化酶类和抗氧化剂非酶物质是AsA-GSH循环系统中重要的组成酶和抗氧化剂组成部分,表明AsA-GSH循环系统在植物逆境下清除体内活性氧及自由基起到了重要作用(Bowler等1992)。

收稿 2015-02-03 修定 2015-03-02

资助 国家自然科学基金(31460495)和石河子大学优秀青年基金(2012ZRKXYQ09)。

\* 通讯作者(E-mail: junli7656@126.com; Tel: 0993-2057992)。

5-氨基乙酰丙酸(ALA)是所有卟啉化合物生物合成的关键前体(Castelfranco和Beale 1983),是一种新型的植物生长调节物质(Hotta等1997)。近几年来关于ALA研究报道主要集中在通过提高植物体内保护酶系统的生理活性及渗透调节物质含量来缓解盐胁迫(高晶晶等2013;鲁金星等2012;张春平等2011)。然而,关于ALA对盐胁迫下葡萄叶片中AsA-GSH循环系统影响未见报道。因此,本研究以葡萄为材料,拟探明叶面喷施ALA对盐胁迫下葡萄叶片中AsA-GSH循环系统中抗氧化酶活性和抗氧化剂含量的影响,旨在为ALA提高葡萄耐盐性提供理论依据。

## 材料与方 法

### 1 试验材料

以两个耐盐性不同的葡萄(*Vitis vinifera* L.)品种‘里扎马特’和‘夏黑’为材料,其中,‘里扎马特’为耐盐型品种,‘夏黑’为盐敏感型品种(周志文2003),均为当年生的营养袋苗;ALA由美国Sigma公司提供。

### 2 试验设计与处理

试验采用水洗沙盆栽,每盆栽10 kg,于2013年4月25日选择高度和基部直径比较均匀、根系较为发达、生命力强健的一年生‘夏黑’葡萄和‘里扎马特’葡萄栽植在盆中,每盆栽一株葡萄苗,置于浅壁托盘中,避雨栽培,自然光照。视土壤含水量不定时浇灌不含盐分的营养液,以保持土壤田间持水量为60%~70%,待成活后选择生长健康一致的苗木作为试材进行处理。2013年7月15日(葡萄已具有7~9片成熟的功能叶片)以氯化钠(NaCl)分析纯作为盐源,设3个盐处理水平:0、2、4 g·kg<sup>-1</sup>。每盆中追施的NaCl分3次等量均匀浇入,每次间隔14 d。在3次盐处理结束后的第2天叶面分别喷施不同浓度的ALA,以全株叶片喷施滴水为宜,ALA施用浓度分别为0、75、150 mg·L<sup>-1</sup>。其中以0 g·kg<sup>-1</sup>的NaCl和0 mg·L<sup>-1</sup>ALA的处理为对照。每个处理5株,3次重复。ALA在pH 6.5时对逆境的缓解作用较好且见光易分解,用磷酸调清水pH值后稀释,傍晚进行叶面喷施(徐晓洁等2008)。于2013年8月20日(第3次处理1周后)取葡萄功能叶作为测量材料。

### 3 项目测定及方法

#### 3.1 可溶性蛋白质含量

可溶性蛋白质含量采用考马斯亮蓝法,用牛

血清蛋白质做标准曲线。

#### 3.2 抗氧化剂含量

还原型抗坏血酸(reductive-form ascorbic acid, AsA)和脱氢抗坏血酸(dehydroascorbic acid, DHA)参照徐小万等(2008)测定;氧化型谷胱甘肽(oxidized glutathione, GSSG)含量和还原型谷胱甘肽(reduced glutathione, GSH)含量测定参照樊怀福等(2007)测定。

#### 3.3 酶活性的测定

抗坏血酸过氧化物酶(ascorbate peroxidase, APX)和谷胱甘肽还原酶(glutathione reductase, GR)活性测定参照陈建勋和王晓峰(2002);脱氢抗坏血酸还原酶(dehydroascorbate reductase, DHAR)和单脱氢抗坏血酸还原酶(monodehydroascorbate reductase, MDHAR)活性测定参照宋松泉等(2005)。

### 4 数据分析

本试验数据处理和相关性分析采用SPSS21.0软件,对平均数用Duncan新复极差法进行多重比较,然后用Microsoft Excel进行制表。

## 实验结果

### 1 ALA对盐胁迫下葡萄叶片中APX、GR、MDHAR和DHAR活性的影响

#### 1.1 ALA对盐胁迫下‘夏黑’葡萄叶片中APX、GR、MDHAR和DHAR活性的影响

由表1可知,在盐胁迫条件下,‘夏黑’葡萄叶片中APX、GR、MDHAR和DHAR活性均显著升高,且随着盐胁迫浓度的增加而逐渐上升。在相同盐胁迫条件下,叶面喷施ALA处理均对葡萄叶片APX、GR、MDHAR和DHAR活性表现相似的变化趋势。在2和4 g·kg<sup>-1</sup> NaCl胁迫下叶面分别喷施75和150 mg·L<sup>-1</sup>浓度的ALA处理后,APX活性比各自对照分别增加了23.15%、14.33%和17.22%、8.67%;GR活性比各自对照分别增加了43.08%、36.71%和38.31%、25.66%;MDHAR活性比各自对照分别增加了46.66%、27.77%和16.97%、8.10%;DHAR活性比各自对照分别增加了29.76%、18.79%和23.86%、19.81%。可以看出,‘夏黑’葡萄在2 g·kg<sup>-1</sup>的盐胁迫条件下,叶面喷施75 mg·L<sup>-1</sup>浓度的ALA时,其叶片中APX、GR、MDHAR和DHAR活性的增加幅度最大,从而对植株的盐胁迫起到了最有效地缓解作用。

表1 ALA对盐胁迫下‘夏黑’葡萄叶片中APX、GR、MDHAR和DHAR活性的影响

Table 1 Effects of ALA on the activities of APX, GR, MDHAR and DHAR in ‘Summer Black’ grape leaves under salt stress

NaCl浓度/g·kg <sup>-1</sup>	ALA浓度/mg·L <sup>-1</sup>	APX活性/ μmol·mg <sup>-1</sup> (蛋白)·min <sup>-1</sup>	GR活性/ μmol·mg <sup>-1</sup> (蛋白)·min <sup>-1</sup>	MDHAR活性/ μmol·mg <sup>-1</sup> (蛋白)·min <sup>-1</sup>	DHAR活性/ μmol·mg <sup>-1</sup> (蛋白)·min <sup>-1</sup>
0	0	106.26±1.104 <sup>g</sup>	15.21±0.732 <sup>e</sup>	15.06±0.790 <sup>f</sup>	16.06±0.371 <sup>d</sup>
0	75	115.77±0.859 <sup>f</sup>	20.56±0.388 <sup>d</sup>	18.19±0.256 <sup>d</sup>	18.87±0.997 <sup>c</sup>
0	150	109.65±0.440 <sup>fg</sup>	18.68±0.638 <sup>d</sup>	16.64±0.378 <sup>e</sup>	17.96±0.500 <sup>cd</sup>
2	0	131.43±0.399 <sup>e</sup>	18.85±0.633 <sup>d</sup>	19.59±0.595 <sup>d</sup>	18.68±0.160 <sup>e</sup>
2	75	161.86±3.603 <sup>c</sup>	26.97±0.380 <sup>c</sup>	28.73±0.901 <sup>b</sup>	24.24±0.474 <sup>b</sup>
2	150	150.27±0.526 <sup>d</sup>	25.77±0.274 <sup>c</sup>	25.03±0.603 <sup>c</sup>	22.19±1.121 <sup>b</sup>
4	0	160.89±4.943 <sup>c</sup>	24.98±0.848 <sup>c</sup>	28.16±2.214 <sup>b</sup>	22.51±1.191 <sup>b</sup>
4	75	188.60±5.105 <sup>a</sup>	34.55±0.916 <sup>a</sup>	32.94±0.346 <sup>a</sup>	27.88±0.386 <sup>a</sup>
4	150	174.84±1.784 <sup>b</sup>	31.39±0.537 <sup>b</sup>	30.44±0.256 <sup>ab</sup>	26.97±0.956 <sup>a</sup>

同一列中不同小写字母表示差异达到5%显著水平(下表同)。

## 1.2 ALA对盐胁迫下‘里扎马特’葡萄叶片中APX、GR、MDHAR和DHAR活性的影响

由表2可知,在盐胁迫条件下,‘里扎马特’葡萄叶片中APX、GR、MDHAR和DHAR活性均显著高于对照,且随着盐胁迫浓度的增加而逐渐上升。相同盐胁迫条件下,叶面喷施ALA处理葡萄叶片中APX、GR、MDHAR和DHAR活性均能够得到进一步提高,而且提高的趋势相似。在2和4 g·kg<sup>-1</sup> NaCl胁迫下叶面分别喷施75和150 mg·L<sup>-1</sup>浓度的ALA处理后,APX活性比各自对照分别增加了10.32%、19.39%和11.20%、21.34%; GR活性比各自对照分别增加了14.38%、17.63%和9.79%、24.76%; MDHAR活性比各自对照分别增加了9.63%、15.47%和11.73%、18.98%; DHAR活性比各自对照分别增加了13.96%、22.73%和15.29%、27.25%。可以看出,‘里扎马特’葡萄在4 g·kg<sup>-1</sup>的盐

胁迫条件下,叶面喷施150 mg·L<sup>-1</sup>浓度的ALA时,其叶片中APX、GR、MDHAR和DHAR活性的增加幅度最大,从而对植株的盐胁迫起到了最有效地缓解作用。

## 2 ALA对盐胁迫下葡萄叶片中抗氧化剂AsA、DHA、GSH、GSSG含量和AsA/DHA、GSH/GSSG比值的影响

### 2.1 ALA对盐胁迫下葡萄叶片中AsA、DHA含量及AsA/DHA比值的影响

由表3、4可知,与对照相比,盐胁迫条件下,‘夏黑’与‘里扎马特’叶片中的AsA含量和AsA/DHA比值均显著下降,DHA含量显著升高,且随盐浓度梯度的增加分别呈现逐渐下降和升高趋势;叶面喷施ALA处理能够提高盐胁迫下葡萄叶片中AsA含量、AsA/DHA比值和降低DHA含量。

由表3可知,‘夏黑’葡萄在2 g·kg<sup>-1</sup>盐胁迫下叶

表2 ALA对盐胁迫下‘里扎马特’葡萄叶片中APX、GR、MDHAR和DHAR活性的影响

Table 2 Effects of ALA on the activities of APX, GR, MDHAR and DHAR in ‘Rizamat’ grape leaves under salt stress

NaCl浓度/g·kg <sup>-1</sup>	ALA浓度/mg·L <sup>-1</sup>	APX活性/ μmol·mg <sup>-1</sup> (蛋白)·min <sup>-1</sup>	GR活性/ μmol·mg <sup>-1</sup> (蛋白)·min <sup>-1</sup>	MDHAR活性/ μmol·mg <sup>-1</sup> (蛋白)·min <sup>-1</sup>	DHAR活性/ μmol·mg <sup>-1</sup> (蛋白)·min <sup>-1</sup>
0	0	176.05±2.185 <sup>g</sup>	19.81±0.406 <sup>g</sup>	25.65±0.818 <sup>g</sup>	18.04±0.072 <sup>f</sup>
0	75	188.20±1.749 <sup>f</sup>	22.47±0.338 <sup>f</sup>	27.08±0.248 <sup>g</sup>	20.46±0.407 <sup>e</sup>
0	150	193.94±0.976 <sup>f</sup>	23.50±0.475 <sup>f</sup>	28.95±0.342 <sup>f</sup>	21.48±0.524 <sup>e</sup>
2	0	203.26±0.861 <sup>e</sup>	26.71±0.648 <sup>e</sup>	31.35±0.653 <sup>e</sup>	21.34±1.264 <sup>e</sup>
2	75	224.23±2.158 <sup>d</sup>	30.55±0.403 <sup>d</sup>	34.37±0.614 <sup>d</sup>	24.32±0.233 <sup>d</sup>
2	150	242.68±3.403 <sup>c</sup>	31.42±0.270 <sup>d</sup>	36.20±0.448 <sup>c</sup>	26.19±0.227 <sup>c</sup>
4	0	227.32±1.363 <sup>d</sup>	33.00±0.130 <sup>c</sup>	36.92±1.077 <sup>c</sup>	24.33±0.549 <sup>d</sup>
4	75	252.77±1.799 <sup>b</sup>	36.23±0.533 <sup>b</sup>	41.25±0.473 <sup>b</sup>	28.05±0.381 <sup>b</sup>
4	150	275.84±0.370 <sup>a</sup>	41.17±0.209 <sup>a</sup>	43.93±0.414 <sup>a</sup>	30.96±0.924 <sup>a</sup>

表3 ALA对盐胁迫下‘夏黑’葡萄叶片中AsA、DHA含量及AsA/DHA比值的影响

Table 3 Effects of ALA on the contents of AsA, DHA and AsA/DHA ratio in ‘Summer Black’ grape leaves under salt stress

NaCl浓度/g·kg <sup>-1</sup>	ALA浓度/mg·L <sup>-1</sup>	AsA含量/mg·g <sup>-1</sup>	DHA含量/mg·g <sup>-1</sup>	AsA/DHA
0	0	20.57±0.458 <sup>b</sup>	9.34±0.337 <sup>de</sup>	2.21±0.097 <sup>e</sup>
0	75	23.80±0.520 <sup>a</sup>	7.95±0.653 <sup>e</sup>	3.03±0.178 <sup>a</sup>
0	150	21.30±0.301 <sup>b</sup>	8.53±0.379 <sup>e</sup>	2.51±0.138 <sup>b</sup>
2	0	16.49±0.241 <sup>d</sup>	13.52±0.712 <sup>c</sup>	1.23±0.064 <sup>ef</sup>
2	75	20.05±0.451 <sup>b</sup>	10.75±0.781 <sup>d</sup>	1.88±0.109 <sup>d</sup>
2	150	18.69±0.321 <sup>c</sup>	12.56±0.404 <sup>c</sup>	1.49±0.073 <sup>e</sup>
4	0	12.69±0.281 <sup>f</sup>	18.15±0.721 <sup>a</sup>	0.70±0.039 <sup>g</sup>
4	75	14.97±0.430 <sup>e</sup>	15.56±0.687 <sup>b</sup>	0.96±0.027 <sup>fg</sup>
4	150	13.87±0.437 <sup>ef</sup>	17.41±0.404 <sup>a</sup>	0.80±0.012 <sup>g</sup>

表4 ALA对盐胁迫下‘里扎马特’葡萄叶片中AsA、DHA含量及AsA/DHA比值的影响

Table 4 Effects of ALA on the contents of AsA, DHA and AsA/DHA ratio in ‘Rizamat’ grape leaves under salt stress

NaCl浓度/g·kg <sup>-1</sup>	ALA浓度/mg·L <sup>-1</sup>	AsA含量/mg·g <sup>-1</sup>	DHA含量/mg·g <sup>-1</sup>	AsA/DHA
0	0	23.29±0.650 <sup>cd</sup>	11.79±0.290 <sup>d</sup>	1.98±0.049 <sup>e</sup>
0	75	25.69±0.364 <sup>ab</sup>	10.48±0.286 <sup>e</sup>	2.45±0.074 <sup>b</sup>
0	150	27.19±0.314 <sup>a</sup>	9.61±0.505 <sup>e</sup>	2.85±0.195 <sup>a</sup>
2	0	19.40±0.526 <sup>c</sup>	14.80±0.533 <sup>c</sup>	1.31±0.047 <sup>e</sup>
2	75	21.63±0.407 <sup>d</sup>	12.96±0.586 <sup>d</sup>	1.67±0.083 <sup>d</sup>
2	150	24.27±0.552 <sup>bc</sup>	11.98±0.377 <sup>d</sup>	2.03±0.078 <sup>e</sup>
4	0	15.31±0.503 <sup>g</sup>	18.74±0.569 <sup>a</sup>	0.82±0.025 <sup>f</sup>
4	75	17.37±0.637 <sup>f</sup>	17.31±0.387 <sup>b</sup>	1.01±0.024 <sup>f</sup>
4	150	19.76±0.757 <sup>e</sup>	14.72±0.707 <sup>c</sup>	1.35±0.067 <sup>e</sup>

面分别喷施75和150 mg·L<sup>-1</sup>浓度的ALA处理后AsA含量与AsA/DHA比值分别增加了21.59%、13.34%与53.43%、21.80%，DHA含量减少了20.41%、7.10%；在4 g·kg<sup>-1</sup>盐胁迫下叶面分别喷施75和150 mg·L<sup>-1</sup>浓度的ALA处理后，AsA含量与AsA/DHA比值分别增加了17.97%、9.30%与37.31%、13.41%，DHA含量减少了14.27%、4.08%。可以看出，在2 g·kg<sup>-1</sup>盐胁迫下叶面喷施75 mg·L<sup>-1</sup>浓度的ALA处理时，AsA含量、AsA/DHA比值增加和DHA含量减少最显著，即‘夏黑’葡萄在2 g·kg<sup>-1</sup>盐胁迫下叶面喷施75 mg·L<sup>-1</sup>浓度的ALA处理时缓解效果最好。

由表4可知，‘里扎马特’葡萄在2 g·kg<sup>-1</sup>盐胁迫下，叶面分别喷施75和150 mg·L<sup>-1</sup>浓度的ALA处理后AsA含量与AsA/DHA比值分别增加了11.49%、25.10%与27.48%、54.96%，DHA含量减少了12.43%、19.05%；在4 g·kg<sup>-1</sup>盐胁迫下叶面分别喷施75和150 mg·L<sup>-1</sup>浓度的ALA处理后AsA含量与AsA/DHA比值分别增加了13.46%、29.07%与23.17%、64.63%，DHA含量减少了7.63%、21.45%。

可以看出，在4 g·kg<sup>-1</sup>盐胁迫下叶面喷施浓度150 mg·L<sup>-1</sup>的ALA处理时，AsA含量、AsA/DHA比值的增加和DHA含量的减少最显著，即‘里扎马特’葡萄在4 g·kg<sup>-1</sup>盐胁迫下叶面喷施150 mg·L<sup>-1</sup>浓度的ALA处理时缓解效果最好。

## 2.2 ALA对盐胁迫下葡萄叶片中GSH、GSSG含量及GSH/GSSG比值的影响

由表5、6可知，在盐胁迫条件下，葡萄叶片中GSH含量、GSH/GSSG比值明显降低，GSSG含量明显升高，且在4 g·kg<sup>-1</sup>盐胁迫下升高较显著；叶面喷施ALA后，葡萄叶片的GSH含量、GSH/GSSG比值较各自对照显著升高，GSSG含量较对照显著降低。

由表5可知，‘夏黑’葡萄在2和4 g·kg<sup>-1</sup>盐胁迫下叶面分别喷施75和150 mg·L<sup>-1</sup>浓度的ALA处理后GSH含量比各自对照分别增加了19.49%、9.32%和12.00%、6.50%；GSH/GSSG比值较各自对照分别增加了41.94%、25.81%和29.79%、19.15%；GSSG含量比各自对照分别降低了15.79%、



表5 ALA对盐胁迫下‘夏黑’葡萄叶片中GSH、GSSG含量及GSH/GSSG比值的影响

Table 5 Effects of ALA on the contents of GSH, GSSG and GSH/GSSG ratio in ‘Summer Black’ grape leaves under salt stress

NaCl浓度/g·kg <sup>-1</sup>	ALA浓度/g·L <sup>-1</sup>	GSH含量/mg·g <sup>-1</sup>	GSSG含量/mg·g <sup>-1</sup>	GSH/GSSG
0	0	2.82±0.034 <sup>e</sup>	3.02±0.046 <sup>e</sup>	0.93±0.014 <sup>e</sup>
0	75	3.01±0.036 <sup>d</sup>	2.57±0.043 <sup>e</sup>	1.18±0.021 <sup>a</sup>
0	150	2.92±0.020 <sup>b</sup>	2.78±0.033 <sup>f</sup>	1.05±0.015 <sup>b</sup>
2	0	2.36±0.020 <sup>e</sup>	3.80±0.052 <sup>b</sup>	0.62±0.009 <sup>f</sup>
2	75	2.82±0.026 <sup>e</sup>	3.20±0.024 <sup>d</sup>	0.88±0.006 <sup>d</sup>
2	150	2.58±0.022 <sup>d</sup>	3.29±0.004 <sup>d</sup>	0.78±0.001 <sup>e</sup>
4	0	2.00±0.023 <sup>b</sup>	4.25±0.035 <sup>a</sup>	0.47±0.004 <sup>b</sup>
4	75	2.24±0.018 <sup>f</sup>	3.68±0.053 <sup>c</sup>	0.61±0.003 <sup>f</sup>
4	150	2.13±0.038 <sup>e</sup>	3.78±0.053 <sup>bc</sup>	0.56±0.008 <sup>e</sup>

表6 ALA对盐胁迫下‘里扎马特’葡萄叶片中GSH、GSSG含量及GSH/GSSG比值的影响

Table 6 Effects of ALA on the contents of GSH, GSSG and GSH/GSSG ratio in ‘Rizamat’ grape leaves under salt stress

NaCl浓度/g·kg <sup>-1</sup>	ALA浓度/mg·L <sup>-1</sup>	GSH含量/mg·g <sup>-1</sup>	GSSG含量/mg·g <sup>-1</sup>	GSH/GSSG
0	0	3.18±0.029 <sup>e</sup>	3.50±0.031 <sup>f</sup>	0.91±0.008 <sup>e</sup>
0	75	3.30±0.016 <sup>e</sup>	3.27±0.013 <sup>e</sup>	1.01±0.004 <sup>b</sup>
0	150	3.56±0.032 <sup>b</sup>	2.91±0.051 <sup>b</sup>	1.23±0.023 <sup>a</sup>
2	0	2.79±0.015 <sup>b</sup>	4.31±0.050 <sup>c</sup>	0.65±0.008 <sup>e</sup>
2	75	2.95±0.045 <sup>d</sup>	4.07±0.063 <sup>d</sup>	0.73±0.011 <sup>d</sup>
2	150	3.26±0.027 <sup>e</sup>	4.11±0.038 <sup>d</sup>	0.89±0.009 <sup>e</sup>
4	0	2.19±0.018 <sup>a</sup>	5.03±0.056 <sup>a</sup>	0.44±0.005 <sup>e</sup>
4	75	2.35±0.026 <sup>b</sup>	4.68±0.023 <sup>b</sup>	0.50±0.003 <sup>f</sup>
4	150	2.59±0.031 <sup>f</sup>	4.11±0.034 <sup>d</sup>	0.63±0.005 <sup>e</sup>

13.42%和13.41%、11.06%。可以看出, 2 g·kg<sup>-1</sup>盐胁迫时叶面喷施75 mg·L<sup>-1</sup>浓度的ALA处理, GSH含量、GSH/GSSG比值的增加和GSSG含量的减少最显著, 即‘夏黑’葡萄在2 g·kg<sup>-1</sup>盐胁迫下叶面喷施75 mg·L<sup>-1</sup>浓度的ALA处理时缓解效果最好。

由表6可知, ‘里扎马特’葡萄在2和4 g·kg<sup>-1</sup>盐胁迫下叶面分别喷施75和150 mg·L<sup>-1</sup>浓度的ALA处理后GSH含量比各自对照分别增加了5.73%、16.85%和7.31%、18.26%; GSH/GSSG比值较各自对照分别增加了11.97%、37.22%和15.33%、44.74%; GSSG含量比各自对照分别降低了5.57%、4.64%和6.96%、18.29%。可以看出, 4 g·kg<sup>-1</sup>盐胁迫时叶面喷施150 mg·L<sup>-1</sup>浓度的ALA处理, GSH含量、GSH/GSSG比值的增加和GSSG含量的减少最显著, 即‘里扎马特’葡萄在4 g·kg<sup>-1</sup>盐胁迫下叶面喷施150 mg·L<sup>-1</sup>浓度的ALA处理时缓解效果最好。

## 讨 论

植物在受到外界逆境时会促使细胞内酶促和非酶促两类系统清除活性氧, 从而减少对植物细胞造成的伤害(罗娅等2007)。其中AsA-GSH循环系统中重要组成酶为APX、GR、MDHAR和DHAR, 抗氧化剂型非酶组成为AsA和GSH。在AsA-GSH循环系统中, AsA在APX参与催化下与H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>反应, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>则接受GSH为中介的NADPH电子供体还原成H<sub>2</sub>O, 从而对H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>的毒性进行清除。同时GSH被氧化形成GSSG; AsA被氧化形成单脱氢抗坏血酸(MDHA), MDHA或在MDHAR作用下再生形成AsA, 或通过非酶促歧化形成DHA, 在DHAR参与下DHA可以再生形成AsA; GSSG则在关键酶GR的作用下还原为GSH(孙军利等2014; 尹永强等2007)。

AsA和GSH作为AsA-GSH循环中重要的两种抗氧化剂。一般情况下, AsA和GSH含量、DHA和

GSSG含量及AsA/DHA、GSH/GSSG比值的变化可以反映植物盐胁迫变化的特征。本研究表明,在盐胁迫条件下,葡萄叶片中AsA和GSH含量、AsA/DHA和GSH/GSSG比值显著下降,DHA和GSSG含量显著升高,可能由于盐胁迫条件下AsA和GSH参与了氧自由基的清除过程而被氧化为DHA和GSSG。而在叶面喷施ALA处理后葡萄叶片中AsA和GSH的含量升高,DHA和GSSG含量降低,从而导致AsA/DHA、GSH/GSSG的比值也升高。这与刘涛等(2011)研究辣椒在低温胁迫下叶面喷施ALA能够提高AsA-GSH循环中抗氧化剂含量的结果一致。表明ALA也可以通过提高AsA-GSH循环中抗氧化剂的含量来调节盐胁迫对植物造成的危害。

在逆境条件下,由于APX参与AsA清除 $H_2O_2$ ,其活性也标志着 $H_2O_2$ 清除能力;GR活性与细胞GSH库的水平有关,较高的GSH含量可使膜蛋白结构稳定,GSH含量及GR活性作为机体抗氧化状态的重要标志;AsA在清除 $H_2O_2$ 时被氧化,作为AsA再生的MDHAR和DHAR活性也相应提高。本研究表明,叶面喷施ALA能够进一步提高盐胁迫下葡萄叶片中APX、GR、MDHAR和DHAR的活性,这与樊怀福等(2008)研究黄瓜的结果一致。

综上所述,在盐胁迫条件下,叶面喷施ALA能够进一步地提高葡萄叶片中APX、GR、MDHAR和DHAR的活性以及提高了AsA和GSH的含量、降低了DHA和GSSG含量,因而也导致AsA/DHA和GSH/GSSG的比值升高,使AsA-GSH循环代谢能够正常有效地运行,增强了植株清除活性氧的能力,从而缓解了因盐胁迫而造成的氧化伤害,提高了植株的耐盐性。

‘夏黑’葡萄耐盐性较弱,‘里扎马特’葡萄耐盐性较强,ALA对两种耐盐性不同的葡萄品种的盐害缓解适宜浓度也不尽相同。其中,‘夏黑’葡萄在 $2\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 盐胁迫下叶面喷施 $75\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 浓度的ALA处理时缓解效果最好;‘里扎马特’葡萄在 $4\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 盐胁迫下叶面喷施 $150\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 浓度的ALA处理时缓解效果最好。

## 参考文献

- 白桦(2011). 新疆葡萄产业竞争力研究[硕士论文]. 新疆石河子: 石河子大学
- 陈建勋, 王晓峰(2002). 植物生理学实验指导. 广州: 华南理工大学出版社
- 樊怀福, 郭世荣, 段九菊, 杜长霞, 孙锦(2008). 外源NO对NaCl胁迫下黄瓜(*Cucumis sativus* L.)幼苗生长和谷胱甘肽抗氧化酶系统的影响. 生态学报, 28 (6): 2511~2517
- 樊怀福, 李娟, 郭世荣, 杜长霞(2007). 外源NO对NaCl胁迫下黄瓜幼苗生长和根系谷胱甘肽抗氧化系统的影响. 西北植物学报, 27 (8): 1611~1618
- 高晶晶, 冯新新, 段春慧, 李健花, 师忠轩, 高付永, 汪良驹(2013). ALA提高苹果叶片光合性能与果实品质的效应. 果树学报, 30 (6): 944~951
- 刘涛, 徐刚, 高文瑞, 郭世荣, 李德翠, 孙艳军(2011). ALA对低温胁迫下辣椒植株叶片中AsA-GSH循环的影响. 江苏农业科学, 27 (4): 830~835
- 鲁金星, 姜寒玉, 李唯(2012). 低温胁迫对砧木及酿酒葡萄枝条抗寒性的影响. 果树学报, 29 (6): 1040~1046
- 罗娅, 汤浩茹, 张勇(2007). 低温胁迫对草莓叶片SOD和AsA-GSH循环酶系统的影响. 园艺学报, 34 (6): 1405~1410
- 宋松泉, 程红焱, 龙春林, 姜孝成(2005). 种子生物学研究指南. 北京: 科学出版社
- 孙军利, 赵宝龙, 郁松林(2014). 外源水杨酸对高温胁迫下葡萄几种抗氧化酶活性和抗氧化物含量的影响. 植物生理学报, 50 (7): 1014~1018
- 徐小万, 曹必好, 陈国菊, 陈清华, 雷建军(2008). 高温高湿对辣椒抗氧化系统的影响及不同品种抗氧化性差异研究. 华北农学报, 23 (1): 81~86
- 徐晓洁, 邹志荣, 乔飞, 王魏, 张丙凯, 祁向玲(2008). 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. 干旱地区农业研究, 26 (4): 131~135
- 许波, 李贵宝, 王英(1998). 葡萄缺素症状及防治方法. 北方果树, (3): 22~23
- 尹永强, 胡建斌, 邓明军(2007). 植物叶片抗氧化系统及其对逆境胁迫的响应研究进展. 中国农学通报, 23 (1): 105~110
- 张春平, 何平, 韦品祥, 杜丹丹, 喻泽莉(2011). 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. 中草药, 42 (6): 1194~1200
- 周志文(2003). 葡萄种质资源的耐盐性鉴定及其生理基础的研究[硕士论文]. 山东泰安: 山东农业大学
- Bowler C, Montagu MV, Inze D (1992). Superoxide dismutase and stress tolerance. Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol, 43: 81~116
- Castelfranco PA, Beale SI (1983). Chlorophyll biosynthesis: recent advances and areas of current interest. Annu Rev Plant Physiol, 34: 241~278
- Hotta Y, Tanaka T, Takaoka H, Takeuchi Y, Konnai M (1997). Promotive effects of 5-aminolevulinic acid on the yield of several crops. Plant Growth Reg, 22: 109~114