

硅对盐胁迫下葡萄幼苗生理效应的影响

雷玉娟¹, 张振文¹, 白团辉², 韩姗姗¹

(1. 西北农林科技大学葡萄酒学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学园艺学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要:以酿酒葡萄“赤霞珠”(Cabernet Sauvignon, CS)1年生扦插苗为试材,采用营养液水培系统,研究了根施外源硅($K_2SiO_3 \cdot 9H_2O$, Si)对盐(50 mmol/L NaCl)胁迫下赤霞珠葡萄幼苗叶片生理生化特性的影响。结果表明:盐胁迫处理下,葡萄幼苗叶片超氧阴离子(O_2^-)产生速率加快,过氧化氢(H_2O_2)、丙二醛(MDA)含量和相对膜透性增加;超氧化物歧化酶(SOD),过氧化物酶(POD)和过氧化氢酶(CAT)活性增强;组织含水量降低;施用2.0 mmol/L Si明显抑制了 O_2^- 、 H_2O_2 和MDA的积累,增加了组织含水量,并进一步提高了抗氧化酶SOD和POD的活性。说明外源Si可通过提高盐胁迫下葡萄幼苗体内的抗氧化酶活性,从而降低活性氧(ROS)水平,一定程度上减轻盐胁迫对植株所造成的细胞膜脂过氧化伤害,增强其耐盐性。

关键词: 硅; 赤霞珠葡萄幼苗; 盐胁迫; 活性氧; 抗氧化酶

中图分类号: S663.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2008)05-0165-04

自20世纪60年代以来,土壤盐渍化就是众多研究学者关注的话题,也是一个世界性难题,全球约有10亿 hm^2 盐渍土,占世界陆地面积的7.6%,我国盐渍土面积有0.27亿 hm^2 ,主要分布在东北、华北、西北内陆地区及长江以北沿海地带^[1],因此大力开发利用盐渍土对我国果树业的发展有着非常重要的意义。葡萄属于对盐敏感的非盐生植物,相对其它北方落叶果树而言,其耐盐极限度较大,对多种土壤类型和气候条件有较强的适应性,是在盐渍土上栽植最有前途的果树之一。因此,研究提高葡萄耐盐性的技术措施,对扩大葡萄栽培面积,开发利用盐渍土具有重要的意义。

硅是地球表面的第二大元素,近年来研究表明,硅可显著提高作物的抗盐性,降低作物盐害^[2]。硅参与作物的代谢过程,可提高盐胁迫下作物叶片过氧化物酶、超氧化物歧化酶、过氧化氢酶^[3]活性,明显降低叶片中过氧化氢^[4]和丙二醛含量^[3],减少膜脂过氧化带来的伤害;施硅处理下的小獐毛根系可通过减少盐分向地上部的运输,增加叶片清除氧自由基的能力,从而提高作物的耐盐性^[4]。束良佐等^[5]也证实硅可明显降低玉米幼苗超氧阴离子自由基产生速率和质膜透性,减轻盐胁迫对玉米幼苗的伤害。然而,国内外有关硅对葡萄耐盐性影响的研究较少,甚至是空白。本试验就是以葡萄为试材,研究外源硅对盐胁迫下葡萄幼苗抗氧化酶活性及活性氧水平等生理效应的影响,从而为探讨外源硅对

缓解盐胁迫对葡萄的伤害提供一定的理论依据。

1 材料与与方法

1.1 材料与试验处理

试验于2007年3~10月在西北农林科技大学葡萄酒学院日光温室进行,供试材料为欧亚种(V. Vinifera L.)酿酒葡萄“赤霞珠”(Cabernet Sauvignon, CS),硅源为 $K_2SiO_3 \cdot 9H_2O$ (化学纯),盐源为氯化钠(NaCl分析纯)。3月份将1年生枝条插入营养钵中(基质为河砂:园土=1:1),当幼苗长至10片真叶时,于5月21日选均匀一致的幼苗移至1/2 Hoagland营养液(pH 6.5±0.1)中栽培,营养液中由 K_2SiO_3 引入的 K^+ 从营养液成分 KNO_3 中除,同时引起的氮素的损失由稀释的 HNO_3 来补充,每小时通气40 min,每5 d更换一次营养液。植株在营养液中预培养15 d后分3部分进行处理,分别为对照(CK):1/2 Hoagland营养液;盐胁迫处理(S):1/2 Hoagland营养液+NaCl;外源硅处理(S+Si):1/2 Hoagland营养液+NaCl+Si(2.0 mmol/L),每处理15株,重复5次。在预试验的基础上,盐胁迫浓度设为50 mmol/L。分别于处理后第0、5、10、15和20 d取第4~7位的成熟叶片,每处理每次取样13株,液氮速冻,-70℃保存,用于指标测定,每个指标重复3次。

1.2 测定指标与方法

1.2.1 H_2O_2 含量和 O_2^- 产生速率的测定 H_2O_2 含

收稿日期:2008-03-19

基金项目:优质抗病酿酒葡萄新品种的选育(2004K02-G9)

作者简介:雷玉娟(1983—),女,新疆博乐人,硕士,主要从事酿酒葡萄栽培及抗性研究。E-mail:leiyujuan115156334@163.com。

通讯作者:张振文(1960—),男,陕西耀县人,教授,博士生导师,主要从事葡萄与葡萄酒的研究。E-mail:zhangzhw60@163.com。

量的测定参照高俊凤^[6]的方法, O_2^- 产生速率的测定参照王爱国和罗广华^[7]的方法, 略有改进: 称取 0.5 g 叶样, 加入 65 mmol/L 磷酸缓冲液 (pH = 7.8), 在冰浴上研磨成匀浆后定容至 8 mL, 10 000 g (4℃) 离心 15 min, 取上清液用于 O_2^- 产生速率的测定。

1.2.2 相对膜透性和 MDA 含量的测定 相对膜透性和 MDA 含量测定参照李合生等^[8]的方法。以相对电导率表示细胞膜受胁迫伤害的程度 (相对电导率 = 处理电导率 / 煮沸后电导率 × 100%)。

1.2.3 SOD、POD 和 CAT 活性的测定 SOD、POD 和 CAT 活性参照高俊凤^[6]的方法: SOD 活性采用 NBT 光化还原法, 以抑制 50% NBT 反应为 1 个酶活性单位 (U/g·FW); POD 活性采用愈创木酚法, 以每分钟内 A_{470} 变化 0.01 为 1 个酶活性单位; CAT 活性采用过氧化氢比色法, 以每分钟内 A_{240} 变化 0.1 为 1 个酶活性单位。

1.2.4 组织含水量的测定 处理第 20 d 时, 每处理取 10 株擦干水分后测定地上和地下部鲜重, 然后

在 105℃ 下杀青 15 min, 75℃ 下烘干至恒重。组织含水量 (WLD) 按叶片含水量占叶片干重的百分比计算, 即 $WLD = (\text{鲜重} - \text{干重}) / \text{干重} \times 100\%$ 。

试验数据应用 Excel 和 DPS 数据处理系统进行统计分析, LSD 多重比较法进行显著性检验 ($P < 0.05$ 表示差异显著, $P < 0.01$ 表示差异极显著)。

2 结果与分析

2.1 外源 Si 对盐胁迫下赤霞珠葡萄幼苗生物量和组织含水量 (WLD) 的影响

由表 1 可以看出, 幼苗单株在盐胁迫下, 其地上部分的鲜重, 地下部分的干、鲜重均下降, 并与 CK 存在极显著差异, 分别比 CK 降低了 17.45%, 33.66% 和 26.24%, 地上部分 WLD 极显著低于 CK, 而对单株地上部分干重和地下部分 WLD 无明显影响; 加硅极显著提高了幼苗单株地上部分的鲜重, 显著提高了单株地下部分鲜重和地下部分的干重, 分别为 CK 的 89.07%, 92.92% 和 89.24%, 而对地下部分 WLD 无明显影响。

表 1 外源 Si 对盐胁迫下赤霞珠葡萄幼苗组织含水量的影响

Table 1 Effects of exogenous Si on fresh dry weight of the CS seedlings under salt stress

处理 Treatment	地上部 Shoot			地下部 Root		
	鲜重(g/株) Fresh weight	干重(g/株) Dry weight	组织含水量(%) WLD	鲜重(g/株) Fresh weight	干重(g/株) Dry weight	组织含水量(%) WLD
CK	14.109 ± 0.4796a	6.210 ± 0.0906a	127.649A	13.851 ± 0.2870a	2.778 ± 0.1941a	423.580a
S	11.647 ± 0.3537c	5.906 ± 0.1028a	97.575B	9.189 ± 0.7514b	2.049 ± 0.1212b	356.264a
S+Si	13.110 ± 0.3237b	5.968 ± 0.1405a	120.171AB	12.377 ± 0.6632a	2.497 ± 0.0571a	397.679a

注: 数值为平均值 ± 标准误, 大写字母表示极显著性差异 ($P < 0.01$), 小写字母表示显著性差异 ($P < 0.05$), 相同字母表示处理间差异不显著。

Notes: The figures are the averages ± standard errors of the sampled plants, capital letter means bally significant differences at $P < 0.01$, small letter means significant differences at $P < 0.05$, and the same letters mean insignificant differences.

2.2 外源 Si 对盐胁迫下赤霞珠葡萄幼苗活性氧水平的的影响

从图 1 可以看出, 在处理期间, 正常条件下赤霞珠葡萄幼苗叶片中的 O_2^- 产生速率和 H_2O_2 含量变化较小; 盐胁迫下, 幼苗体内的 O_2^- 产生速率和 H_2O_2 含量均显著增加, 分别在处理第 15 d 和第 10 d 达到峰值, 以后呈下降趋势; 加硅处理下, 幼苗叶片中的 O_2^- 产生速率的增加幅度显著低于盐胁迫处理下的 O_2^- 产生速率, 在处理第 15 d 时, O_2^- 产生速率为盐胁迫处理的 72.74%, 而 H_2O_2 含量比盐胁迫处理下的有所增加, 但于处理第 20 d 比盐胁迫处理下有所降低。

2.3 外源 Si 对盐胁迫下赤霞珠葡萄幼苗 MDA 含量和相对电导率的影响

由图 2 可以看出, 幼苗叶片在正常条件下的

MDA 含量和相对电导率均无明显波动, 基本保持稳定; 在盐胁迫下, 处理 5 d 后幼苗叶片中的 MDA 含量和相对电导率均升高, 且显著高于 CK, 但随胁迫时间的延长, MDA 含量呈现出先升后降的趋势, 在处理第 10 d 出现峰值, 为 CK 的 1.78 倍; 相对电导率随胁迫时间的延长一直呈现上升趋势, 并于处理第 20 d, 为 CK 的 2.1 倍; 外源 Si 处理下, 幼苗中的 MDA 含量和相对电导率也都高于 CK, 但均显著低于盐胁迫处理, 其表现为在处理第 10 d 时, MDA 含量比盐胁迫下降了 26.1%, 在处理第 20 d 时, 相对电导率比盐胁迫下降了 24.3%。

2.4 外源 Si 对盐胁迫下赤霞珠葡萄幼苗抗氧化酶活性的影响

由图 3 可以看出, 在试验期间, 赤霞珠幼苗在正常情况下的 SOD、POD、CAT 活性基本保持不变; 盐

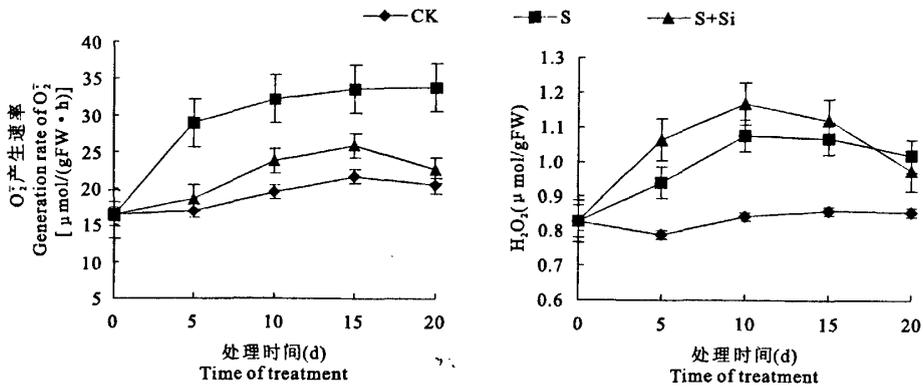


图 1 外源 Si 对盐胁迫下 CS 幼苗叶片 O₂⁻ 产生速率和 H₂O₂ 含量的影响

Fig. 1 Effect of exogenous Si on the O₂⁻ production rate and content of H₂O₂ in leaves of CS seedlings under salt stress

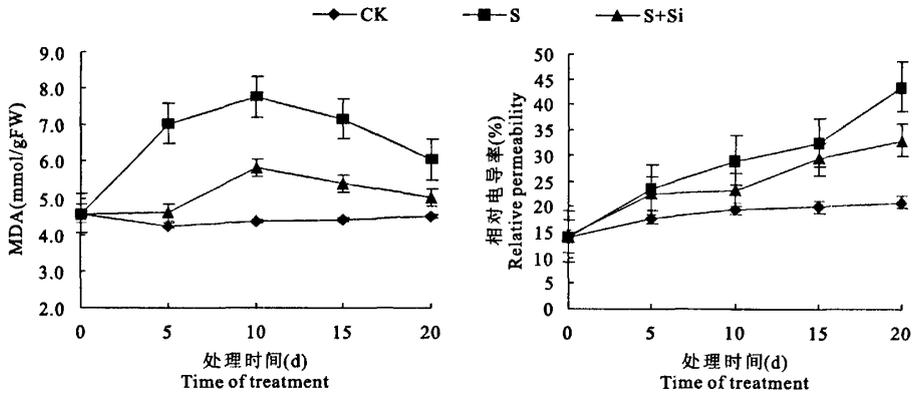


图 2 外源 Si 对盐胁迫下赤霞珠葡萄幼苗叶片 MDA 含量和相对电导率的影响

Fig. 2 Effect of exogenous Si on the content of MDA and the relative permeability of membrane in leaves of CS seedlings under salt stress

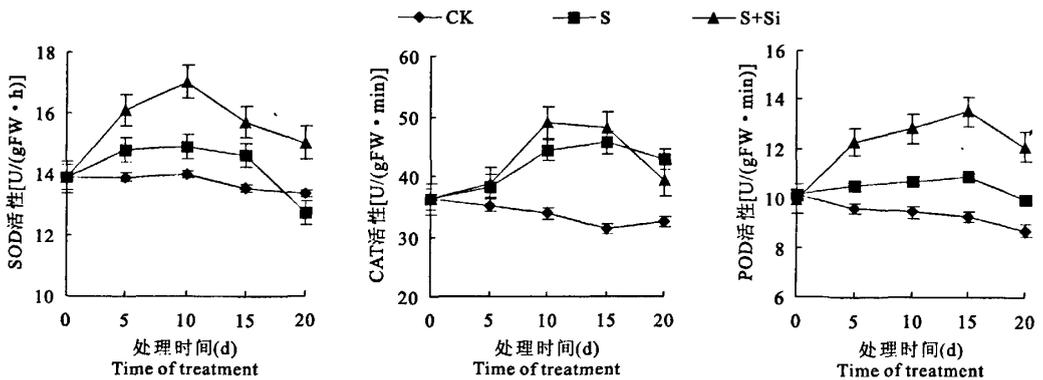


图 3 外源 Si 对盐胁迫下赤霞珠葡萄幼苗叶片 SOD、POD、CAT 活性的影响

Fig. 3 Effect of exogenous Si on SOD、POD、CAT activity in leaves of CS seedlings under salt stress

胁迫下,幼苗叶片 SOD、POD、CAT 活性明显升高,且随胁迫时间的延长,呈现先升后降的趋势,SOD 在处理第 10 d 达到峰值,为 CK 的 1.1 倍,后逐渐下降;POD 和 CAT 活性在处理第 15 d 达到峰值,分别比 CK 增加了 17.3% 和 46.0%,以后亦逐渐下降;外源 Si 处理能显著提高盐胁迫下幼苗叶片的 SOD 和 POD 活性,分别比胁迫处理高 14.1% 和 24.6%,而对 CAT 活性的影响较小。

3 讨论

本试验以酿酒葡萄“赤霞珠”(Cabernet Sauvignon, CS)1 年生扦插苗为试材,研究了根施外源硅($K_2SiO_3 \cdot 9H_2O$, Si)对盐(50 mmol/L NaCl)胁迫下赤霞珠葡萄幼苗叶片生理生化特性的影响。结果表明,葡萄叶片在试验处理期间,对照处理叶片内 O_2^- 产生速率和 H_2O_2 含量均保持相对稳定,显著低于盐胁迫处理;而盐胁迫处理叶片中的 O_2^- 产生速率和 H_2O_2 含量均随处理时间的延长,呈现先升后降的趋势。这与魏国强等^[9]在黄瓜上的研究结果一致。这可能是由于盐胁迫下,植物 CO_2 同化受到抑制,而光合电子传递受影响相对较小^[9],因而更多电子传递到 O_2 ,导致植物体内 O_2^- 产生速率加快, H_2O_2 含量增加;加硅能显著抑制盐胁迫下葡萄幼苗叶片中 O_2^- 的产生,而 H_2O_2 含量比盐胁迫下有所增加。

本研究结果还表明,处理期间,赤霞珠葡萄幼苗叶片在正常情况下的 SOD、POD 和 CAT 活性基本保持不变;而盐胁迫下,其 SOD、POD 和 CAT 活性明显升高,且随胁迫时间的延长,SOD、POD 和 CAT 活性均呈现出先升后降的趋势,这与段九菊^[10]等在黄瓜幼苗上的研究结果一致。说明在盐胁迫初期,幼苗可通过自身调节机制来适应短时间的逆境胁迫,但随胁迫时间的延长,SOD、POD 和 CAT 活性开始下降,这就意味着幼苗自身调节能力已经减弱,活性氧自由基(ROS)的积累超过了幼苗内源性抗氧化酶的消除能力,体内活性氧代谢失调,从而对幼苗造成伤害;硅能进一步提高盐胁迫下幼苗叶片中的 SOD 和 POD 活性,从而增强了幼苗对 ROS 的消除能力,减少了 ROS 的积累。这与梁永超^[3]等在大麦上的研究结果一致。至于硅如何提高植物体抗氧化酶活性,如 SOD、POD 的活性,其机理尚不很清楚,还有待于进一步深入研究。

MDA 是活性氧启动膜脂过氧化过程中产生的主要产物之一,它能交联脂类、核酸、糖类及蛋白质,从而对质膜的结构和功能造成不良影响^[11],其积累量反映了在逆境胁迫下细胞膜脂过氧化程度的

高低^[12]。本试验表明,盐胁迫下,相对电导率和 MDA 含量均显著升高,并随胁迫时间的延长,相对电导率呈持续上升趋势,而 MDA 含量呈现先升后降的趋势,这与梁永超等^[3]在大麦上的研究结果相似;加硅显著提高了赤霞珠葡萄幼苗叶片的 MDA 含量和相对电导率。这与束良佐等^[5]在玉米上的研究结果相同。说明硅能够减轻细胞膜脂过氧化程度,从而保护细胞膜的完整性和稳定性。处理第 20 d 时,幼苗单株地上部分鲜重,地下部分干、鲜重下降,且极显著低于对照;加硅极显著提高了盐胁迫下单株地下部分鲜重,表明硅增强了赤霞珠葡萄幼苗的持水能力,抵御盐胁迫的能力加强。

综上所述,抗氧化酶活性的高低和 ROS 水平与植株的耐盐性密切相关,植物体耐盐性提高,即为拥有较高的抗氧化酶活性和较低的 ROS 水平;施用 2.0 mmol/L 的外源 Si 可明显降低盐胁迫下赤霞珠葡萄幼苗体内 ROS 水平、进一步提高 SOD 和 POD 活性,从而进一步增强膜的完整性和稳定性,提高幼苗对盐胁迫的抵抗能力,缓解盐胁迫对幼苗的伤害。

参考文献:

- [1] 马翠兰,刘星辉,陈中海.果树对盐胁迫的反应及耐盐性鉴定的研究进展[J].福建农业大学学报,2000,29(2):161—166.
- [2] Ahmad R, Zaheers S H, Ismail S. Role of silicon in salt tolerance of wheat[J]. Plant Sci, 1992,85:43—50.
- [3] LIANG Y C, CHEN Q, LIU Q, et al. Exogenous silicon (Si) increases antioxidant enzyme activity and reduces lipid peroxidation in roots of salt stressed barley(*Hordeum vulgare* L.)[J]. Journal of Plant Nutrition, 2003,160(10):1157—1164.
- [4] 陈阳,王贺,张福锁,等.硅盐互作下小薹毛植物体内元素分布及生理特性的研究[J].植物生态学报,2003,27(2):189—195.
- [5] 束良佐,刘英慧.硅对盐胁迫下玉米幼苗叶片膜脂过氧化和保护系统的影响[J].厦门大学学报(自然科学版),2001,40(6):1295—1300.
- [6] 高俊凤.植物生理学试验技术[M].西安:世界图书出版社,2000.159—198.
- [7] 王爱国,罗广华.植物的超氧化物自由基与羟胺反应的定量关系[J].植物生理学通讯,1990,26(6):55—57.
- [8] 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:高等教育出版社,2000.164—194.
- [9] 魏国强.硅提高黄瓜白粉病抗性和耐盐性的生理机制研究[D].杭州:浙江大学,2004.69—74.
- [10] 段九菊,郭世荣,康云艳.外源亚精胺对盐胁迫下黄瓜幼苗活性氧代谢的影响[J].农业工程学报,2005,21:87—91.
- [11] Roberts R, Steward C M, Bewley J D. Lipid peroxidation associated with accelerated aging soybean axes[J]. Plant Physiol, 1980,65:245—248.
- [12] 余叔文,汤章城.植物生理和分子生物学(第二版)[M].北京:科学出版社,1998.752—769.

(英文摘要下转第 179 页)

Comprehensive evaluation on the drought-resistance of four climbing rose cultivars

ZHANG Mei-ling¹, YANG Yong-hua², LIAO Wei-biao^{3,4}, XIAO Hong-lang⁴, WANG Hai-ming¹

(1. School of Mathematics and Statistics, Lanzhou University, Lanzhou, Gansu 730000, China;

2. Institute of Garden Research of Lanzhou, Lanzhou, Gansu 730070, China;

3. College of Agronomy, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China; 4. Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou, Gansu 730000, China)

Abstract: Pot was employed to study the drought resistance of four climbing rose (*Rosa Chinensis*) cultivars (“Summer camp”, “Jubilation”, “Western emperor”, “Mozart”). The results of the study revealed that under the drought stress: ① The holding water and retention capability decreased in the order of “Jubilation”, “Summer camp”, “Western emperor”, and “Mozart”. ② The relative electricity conductivity of “Mozart” was 19.7%, 19.6% and 24.0% higher compared with that of “Western emperor”, “Summer camp”, and “Jubilation” respectively, and the MDA content of “Mozart” was significantly higher than that of others ($P < 0.05$). ③ The Pro and WSD content of “Jubilation” were significantly higher than those of “Summer camp” and “Mozart” respectively ($P < 0.05$). ④ The chlorophyll content of “Jubilation” increased 43.3% and 19.8% respectively compared with that of “Mozart” and “Western emperor”. ⑤ The drought resistances of 4 cultivars were comprehensively evaluated by subordinative function method, and their drought resistances were shown to decrease in the order of “Jubilation”, “Summer camp”, “Western emperor”, and “Mozart”.

Keywords: climbing rose; drought resistance comprehensive evaluation; subordinative function method; introduction

(上接第 168 页)

Effects of exogenous silicon on physiological effect of *Cabernet Sauvignon* seedlings under salt stress

LEI Yu-juan¹, ZHANG Zhen-wen¹, BAI Tuan-hui², HAN Shan-shan¹

(1. College of Enology, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. College of Horticulture, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The effects of silicon (Si) on physiological effect of *Cabernet Sauvignon* seedlings were investigated under salt stress in a nutrient solution culture system. The results showed that the salt stress treatment increased the superoxide radical (O_2^-) production rate and the content of hydrogen peroxide (H_2O_2), leading to the accumulation of malonaldehyde (MDA) and the relative permeability of membrane was also higher, while the activities of antioxidant enzymes, including superoxide dismutase (SOD), peroxidase (POD) and catalase (CAT), were promoted in seedlings. Exogenous 2.0 mmol/L Si treatment decreased significantly the content of MDA and O_2^- ; and increased the activities of SOD and POD under salt stress. It indicates that exogenous 2.0 mmol/L Si treatment could alleviate the damage degree of 50 mmol/L NaCl stress through promoting antioxidant enzymes activities and suppressing ROS levels in seedlings under salt stress.

Keywords: silicon; *Cabernet Sauvignon* seedling; salt stress; reactive oxygen; antioxidant enzymes