

NaCl 胁迫下 Si 对甘草叶片抗氧化酶活性的影响

崔佳佳¹, 张新慧^{2,3,4,5}, 张恩和¹, 李月彤², 周 达²

(1. 甘肃农业大学农学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 宁夏医科大学药学院, 宁夏 银川 750004;
3. 宁夏回药现代化工程技术研究中心, 宁夏 银川 750004; 4. 宁夏回医药协同创新中心, 宁夏 银川 750004;
5. 宁夏医科大学回医药现代化省部共建教育部重点实验室, 宁夏 银川 750004)

摘 要: 为探究 NaCl 胁迫下 Si 对甘草抗逆生理特性的影响, 通过盆栽试验, 研究不同浓度 Si 对甘草叶片抗氧化酶活性(SOD、POD、CAT)、MDA 含量、质膜相对透性以及可溶性蛋白和脯氨酸含量的影响。结果表明, Si₂ (0.2 g·kg⁻¹) 处理为最适浓度, 可显著提高甘草叶片 SOD、POD、CAT 活性, 与对照(Si₀)相比, 这 3 种酶活性在 Si₂ 处理下分别增加 37.44%、26.98%、35.16%; Si₃ (0.6 g·kg⁻¹) 处理显著降低膜脂过氧化物 MDA 含量; 增加质膜相对透性、可溶性蛋白含量; 降低脯氨酸含量, MDA 含量降低 35.63%; 质膜相对透性增加 17.69%; 可溶性蛋白含量增加 36.62%; 脯氨酸含量降低 38.15%。由此可见, Si 可以通过提高抗氧化酶活性来减轻活性氧及自由基对甘草叶片的毒害作用, 即加 Si 可改善甘草在 NaCl 胁迫中的抗逆特性, 缓解了 NaCl 胁迫对甘草的伤害。

关键词: 甘草; Si; NaCl 胁迫; 抗氧化酶
中图分类号: S567.7+1 **文献标志码:** A

Effect of silicon addition on the antioxidant enzymes activities of licorice leaves under salt stress

CUI Jia-jia¹, ZHANG Xin-hui^{2,3,4,5}, ZHANG En-he¹, LI Yue-tong², ZHOU Da²

(1. College of Agronomy, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China;
2. College of Pharmacy, Ningxia Medical University, Yinchuan 750004, China;
3. Ningxia Engineering and Technology Research Center of Hui Medicine Modernization, Yinchuan 750004, China;
4. Ningxia Collaborative Innovation Center of Hui Medicine, Yinchuan 750004, China;
5. Key Laboratory of Hui Medicine Modernization, Ministry of Education, Yinchuan 750004, China)

Abstract: The experiment was carried out to study the effects of silicon on antioxidant enzymes(SOD, POD, and CAT) and osmolytes content of licorice leaves under NaCl stress by pot experiment. The results showed that the concentration of 0.2 g·kg⁻¹ silicon had the strongest effect increasing the activities of SOD, POD, and CAT, by 37.44%, 26.98%, and 35.16% compared with the control, respectively. For the concentration of 0.6 g·kg⁻¹, MDA was decreased by 35.63%, proline content by 38.15%, while the relative membrane permeability was increased by 17.69%, and the soluble protein content by 36.62%. In conclusion, silicon treatment could alleviate the damage degree of NaCl stress by promoting the antioxidant enzymes activities in licorice leaves.

Keywords: licorice; silicon; salt stress; antioxidant enzyme

甘草(*Glycyrrhiza uralensis* Fisch)是多年生豆科草本植物, 主要以干燥的根及根状茎入药, 性平、味甘, 具有润肺、清热解毒、调和诸药等功效^[1]。近年来, 甘草不仅用于医药行业, 还广泛应用于食品、烟草、化妆品等领域, 因此市场对甘草的需求量逐年增大^[2]。加之野生甘草资源被当地农民过度采挖, 使野生甘草资源供不应求, 甚至面临枯竭。近 50 年甘草的野生资源分布面积减少约 50%^[3-5]。甘草多生长在干旱、半干旱的荒漠草原、沙漠边缘和黄土丘陵地带, 具有一定的耐盐特性, 但近几年来研究发现高盐不利于人工栽培甘草的生长, 导致产量和质量急剧下降, 无法满足市场需求^[6]。在盐胁迫条件下,

收稿日期: 2016-04-27 修回日期: 2017-03-13
基金项目: 国家自然科学基金项目(31260304, 31460330)
作者简介: 崔佳佳(1991—), 女, 甘肃兰州人, 硕士研究生, 研究方向为药用植物生长调控。E-mail: 573377977@qq.com。
通信作者: 张新慧(1979—), 女, 甘肃岷县人, 副教授, 博士, 主要从事药用植物资源与利用方面的研究。E-mail: zhang2013512@163.com。

如何提高甘草产量、保持或增加甘草品质已成亟待解决的问题。目前对植物在逆境条件下反应机理的研究主要由保护酶系统、膜脂过氧化反应和渗透调节物质构成。POD、SOD、CAT这3种抗氧化酶均为植物体内自由基清除剂,属于保护酶系统中的一部分。这些酶在抑制膜脂过氧化、减轻细胞伤害等方面存在一定的相关性,这是植物忍耐盐胁迫的主要生理机制之一。另外,植物细胞是在低水势条件下积累渗透调节物,如可溶性糖、可溶性蛋白及其游离脯氨酸,这些渗透调节剂可以提高细胞的渗透调节能力,维持细胞形态^[7]。

Si是地壳中继O₂之后的第二个最丰富元素,它几乎存在于所有的矿物质中,广泛分布在各种水资源中,动植物体内也含有大量Si。目前已有研究表明,Si有益于植物生长发育,存在于植物生长发育的各个阶段^[8]。Si的有益作用主要体现在植物抗逆性。根据Epstein对于植物必需元素的新定义可以看出,Si已经被列入其中^[9],随后在一些研究中也指出Si是植物生长必需元素之一^[10]。尽管目前并未证明Si对于所有植物来说是必需的营养元素,但是大量研究表明Si对许多作物生长都是有益的^[11]。越来越多的研究表明,Si在提高植物抗旱性^[12]、抗盐性^[13]、抗寒性^[14]、抗病性^[15]以及减轻重金属对植物的毒害作用^[16]等方面具有重要作用,但由于植物种类不同对于Si的吸收利用有很大差异^[17]。

本研究以乌拉尔甘草(*Glycyrrhiza uralensis*)为研究对象,利用NaCl胁迫条件下Si对甘草抗氧化酶活性的影响,以期探究Si缓解甘草盐胁迫的生理机制,不仅利于甘草产业的可持续发展,又可解决因占用大量优良土壤种植甘草所引起与农作物争地的矛盾,为大面积盐渍化土壤中种植高产优质的甘草提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料及试验区概况

供试材料为银川市移栽定植后栽培2年的乌拉尔甘草种株,由宁夏医科大学药学院张新慧副教授鉴定为乌拉尔甘草(*Glycyrrhiza uralensis*)。

1.2 试验方法

采用盆栽试验,单因素完全随机区组试验设计,在宁夏医科大学校园中进行。选用直径30 cm、高30 cm的塑料水桶。土壤为沙壤土,每盆装土20 kg,以9 g·kg⁻¹ NaCl标准进行拌土^[18]。硅源采用K₂SiO₃作为处理因素,用量为0、0.2、0.4、0.6 g·kg⁻¹,代表符号分别为Si₀、Si₁、Si₂和Si₃。试验中因加入K₂SiO₃引入的K⁺,用KCl来维持K⁺浓度的

一致性,防止由于K⁺浓度差异导致种子渗透压出现差异,在Cl⁻浓度较低时,其对植物的营养效应可以忽略^[19]。装土时将NaCl、KCl和K₂SiO₃与土壤充分混合。将同时育苗、管理一致、长势一致的1年生甘草苗于2014年4月移栽于试验盆中,每盆培养8株。处理后每3 d定量浇灌1次。盆栽试验在露天环境中进行,以保证与当地的气候条件一致,管理措施与当地大田管理一样。自7月中旬开始至10月中旬,每隔30 d采样1次。试验以Si₀作为对照对各项指标进行测定。

1.3 测定方法

于每月的月中取样测定各项生理指标(除功能叶片外均匀采样)。超氧化物歧化酶(SOD)活性采用NBT还原法测定,以抑制NBT光化还原的50%为一个酶活性单位^[20]。过氧化物酶(POD)活性的检测用愈木创酚氧化法,以每分钟吸光度值A值的变化值表示酶活性大小,即以ΔA470 U·g⁻¹·min⁻¹表示;过氧化氢酶(CAT)的活性用紫外吸收法测定,以每分钟内分解1 μL H₂O₂为一个过氧化氢酶活性单位;丙二醛(MDA)采用硫代巴比妥酸法,单位用μmol·L⁻¹来表示^[21]。甘草叶片中游离脯氨酸含量通过酸性茚三酮法测定,可溶性蛋白含量用考马斯亮蓝法测定^[22],质膜相对透性采用电导率法测定^[23]。每个处理3个重复。

1.4 统计方法

试验数据采用SPSS 19.0软件进行方差分析和显著性检验,方差分析多重比较用Duncan法($P < 0.05$),各图表中的数据均为3次重复平均值。

2 结果与分析

2.1 NaCl胁迫下Si对甘草叶片保护酶SOD活性的影响

SOD是普遍存在于生物体内一类能清除超氧阴离子自由基的金属酶^[24]。通过外源Si提高甘草叶片SOD活性,增强自身防御系统的清除能力,使甘草膜脂过氧化减轻,促进甘草生长。由图1可以看出,9 g·kg⁻¹ NaCl胁迫下,甘草叶片中的超氧化物歧化酶(SOD)活性随着胁迫时间的延长总体呈现“先升后降”趋势,在8月份SOD活性达到峰值。7月份、9月份、10月份加Si处理对甘草叶片SOD活性影响不显著;NaCl胁迫下,8月份加Si处理显著增加甘草叶片SOD活性,并随着Si浓度的增加呈现先增后降的趋势。与Si₀相比,Si₁、Si₂和Si₃甘草叶片SOD活性分别增加27.76%、37.44%、13.50%。表明适宜浓度外源Si处理能显著增加甘草叶片中SOD活性,来缓解NaCl胁迫对甘草造成的伤害。

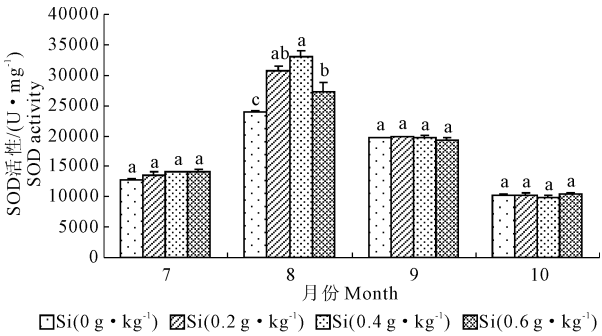


图 1 Si 对盐胁迫下甘草 SOD 活性的影响
Fig.1 Effect of silicon addition on the SOD activity of *G. uralensis* under salt stress

注:不同小写字母表示同一盐浓度下不同 Si 浓度处理间差异显著 ($P < 0.05$), 下同。

Note: Different lowercase letters indicate significant differences ($P < 0.05$), the same as below.

2.2 NaCl 胁迫下 Si 对甘草叶片保护酶 POD 活性的影响

POD 是活性较高的一种酶,它广泛存在于植物体内,与呼吸作用、光合作用等有关^[25]。由图 2 可以看出,在 Si₀ 处理下,随着时间推移 NaCl 胁迫下甘草叶片 POD 活性基本保持不变。在不同月份中,外源 Si 对甘草叶片 POD 活性的影响不同,总体在加入 Si 后呈现上升趋势。与 Si₀ 处理相比,甘草叶片 POD 活性在适宜浓度 Si 处理下显著增加。在 7 月份,甘草叶片的 POD 活性呈现先增后降趋势,在 Si₁ 处理达到最大(2 241.44 U·g⁻¹·min⁻¹),较 Si₀ 显著增加 38.77%, Si₂ 处理较 Si₀ 显著增加 16.46%;在 8 月份, Si₂ 处理甘草叶片的 POD 显著增加 21.82%;9 月份 Si₂ 和 Si₃ 处理均显著增加甘草叶片 POD 活性,较 Si₀ 分别增加 26.98% 和 27.67%;在 10 月份, Si₁ 处理显著增加草叶片的 POD 活性,较 Si₀ 增加 9.60%。由此看出,在 NaCl 胁迫下,适宜浓度外源 Si 能够显著提高甘草叶片中 POD 活性。

2.3 NaCl 胁迫下 Si 对甘草叶片保护酶 CAT 活性的影响

CAT 能够有效清除细胞内过量的 H₂O₂,充分缓解逆境对植物造成伤害,保护其正常生长^[26]。甘草叶片中 CAT 活性随着时间的推移呈现出先增后降的趋势(图 3),在 8 月份,甘草叶片 CAT 活性达到峰值。不同月份中,加 Si 处理不同程度增加甘草叶片 CAT 活性,适宜 Si 浓度与对照相比具有显著性差异。7 月份, Si₃ 处理较 Si₀ 显著增加 27.76%;8 月份所有 Si 处理均显著增加甘草叶片 CAT 活性,与 Si₀ 相比, Si₁、Si₂ 和 Si₃ 处理甘草叶片 CAT 活性分别增加 22.63%、22.02% 和 25.43%;9 月份 Si₃ 处理较 Si₀

显著增加 55.49%;10 月份,甘草叶片 CAT 活性加 Si 后呈现先增后降的趋势,且较 Si₀ 均显著增加,分别增加 22.33%、35.16% 和 15.88%。由此可以看出,通常情况下,外源 Si 使 NaCl 胁迫下甘草叶片中 CAT 活性显著增加。

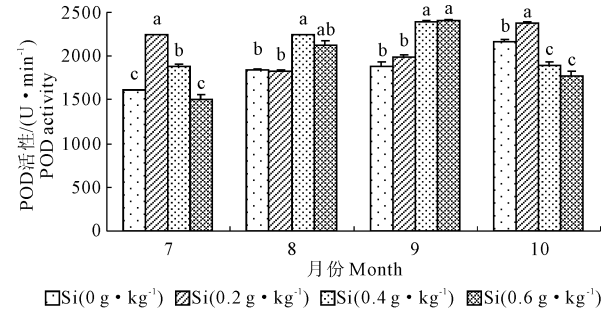


图 2 Si 对盐胁迫下甘草叶片 POD 活性的影响
Fig.2 Effect of silicon addition on POD activity of *G. uralensis* under salt stress

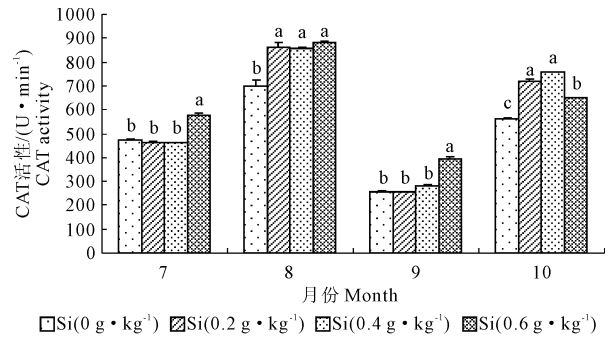


图 3 Si 对盐胁迫下甘草叶片 CAT 活性的影响
Fig.3 Effect of silicon addition on CAT activity of *G. uralensis* under salt stress

2.4 NaCl 胁迫下 Si 对甘草叶片 MDA 含量的影响

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,对质膜的结构和功能造成不良影响^[27]。由图 4 可以看出,甘草叶片 MDA 含量随着时间的推移呈现逐渐下降的趋势。在不同月份,NaCl 胁迫下 Si 显著降低甘草叶片 MDA 含量。7 月份, Si₂ 和 Si₃ 处理下甘草叶片 MDA 含量较 Si₀ 显著降低 22.52% 和 18.84%;8 月份甘草叶片 MDA 含量在 Si₂ 和 Si₃ 处理下较 Si₀ 显著降低 11.65% 和 9.75%;9 月份 Si₃ 处理最显著,降低 35.63%;10 月份, Si₁、Si₂ 和 Si₃ 处理较 Si₀ 分别降低 38.79%、14.12% 和 20.04%。综合发现 0.6 g·kg⁻¹ 外源 Si 对甘草叶片 MDA 含量降低作用最显著。由此可以看出,适宜浓度 Si 处理显著降低 NaCl 胁迫下甘草叶片中 MDA 含量,增加甘草叶片的膜透性。

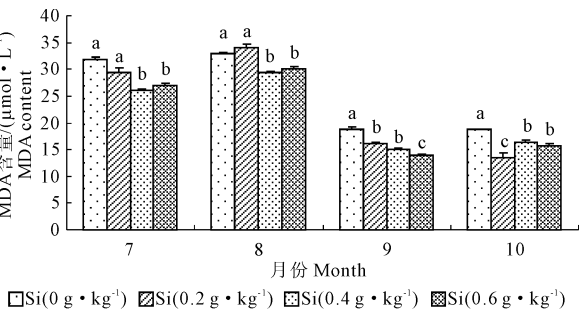


图 4 Si 对盐胁迫下甘草 MDA 含量的影响
Fig.4 Effect of silicon addition on MDA content of *G. uralensis* under salt stress

2.5 NaCl 胁迫下 Si 对甘草叶片质膜相对透性的影响

逆境胁迫会造成植物质膜透性降低,由图 5 可以看出,NaCl 胁迫下适宜浓度 Si 处理显著增加甘草叶片质膜相对透性。7 月份,甘草叶片的质膜相对透性随着 Si 浓度的增加呈现逐渐上升的趋势,较 Si₀ 均显著增加,分别增加 8.56%、13.77%和 17.69%;8 月份, Si₂ 和 Si₃ 处理显著增加甘草叶片质膜相对透性,与 Si₀ 相比分别增加 9.55%和 11.47%;9 月份,加 Si 处理显著增加甘草叶片质膜相对透性,随 Si 浓度的增加先增后降,分别是 Si₀ 处理的 1.37 倍、1.43 倍和 1.19 倍;10 月份, Si₁ 处理显著增加甘草叶片质膜相对透性,较 Si₀ 增加 14.19%。

2.6 Si 对 NaCl 胁迫下甘草叶片可溶性蛋白含量的影响

可溶性蛋白质含量的变化较为敏感,大量研究发现逆境胁迫条件造成可溶性蛋白含量降低^[28]。由图 6 可以看出,NaCl 胁迫下,随着时间推移甘草叶片中的可溶性蛋白质含量在 Si₀ 处理下显著降低。但在不同月份中,适宜浓度 Si 处理均显著增加可溶性蛋白含量。7 月份,甘草叶片可溶性蛋白含量随 Si 浓度的增加呈现上升趋势,与 Si₀ 相比均显著增加,分别增加 9.42%、20.93%和 36.62%;8 月份, Si 处理下甘草叶片可溶性蛋白含量均显著增加,随着 Si 浓度的增加呈现先增后降趋势;9 月份, Si₃ 处理下甘草叶片可溶性蛋白含量较 Si₀ 显著增加 13.67%;10 月份,加 Si 处理均显著提高甘草叶片可溶性蛋白含量,分别为 Si₀ 处理的 2.58、2.68 和 1.96 倍。由以上数据发现适宜浓度外源 Si 可显著增加 NaCl 胁迫下甘草叶片可溶性蛋白含量。

2.7 Si 对 NaCl 胁迫下甘草叶片脯氨酸含量的影响

脯氨酸具较强的水合能力,逆境胁迫导致植物脯氨酸含量增加来缓解由渗透势增加造成的伤害^[29]。由图 7 可以看出,NaCl 胁迫下 Si 处理显著

影响甘草叶片脯氨酸含量,随着时间的推移其呈现缓慢下降的趋势。7 月份,甘草叶片脯氨酸含量随着 Si 浓度的增加而降低,较 Si₀ 处理均显著降低,分别降低 7.91%、30.37%和 39.72%;8 月份,甘草叶片脯氨酸含量随着 Si 浓度的增加呈现先增后降的趋势,在 Si₃ 处理下显著降低,较 Si₀ 降低 17.84%;9 月份甘草叶片脯氨酸含量随 Si 浓度的增加先降后增, Si₁ 处理下甘草叶片脯氨酸含量达到最低,与 Si₀ 处理相比降低 12.62%;10 月份,加 Si 处理降低甘草叶片脯氨酸含量,在 Si₃ 处理下降低最多,较 Si₀ 降低 38.15%。

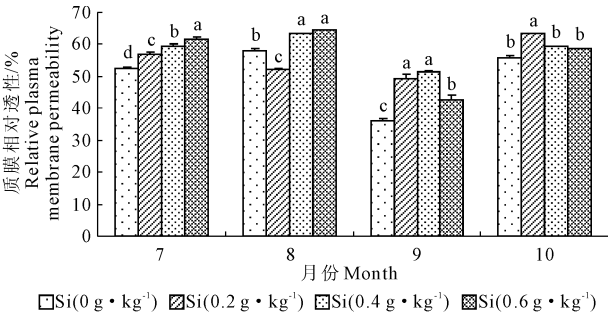


图 5 Si 对盐胁迫下甘草叶片质膜相对透性的影响
Fig.5 Effect of silicon addition on the relative plasma membrane permeability of *G. uralensis* under salt stress

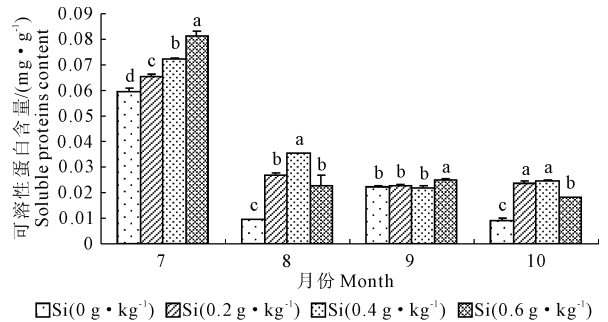


图 6 Si 对盐胁迫下甘草叶片可溶性蛋白含量的影响
Fig.6 Effect of silicon addition on soluble proteins content of *G. uralensis* under salt stress

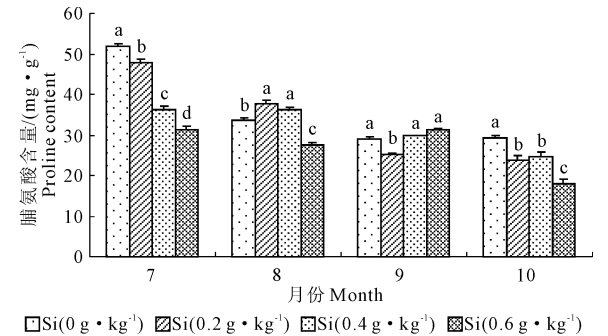


图 7 Si 对盐胁迫下甘草叶片游离脯氨酸含量的影响
Fig.7 Effect of silicon addition on proline content of *G. uralensis* under salt stress

3 讨论与结论

3.1 Si 对 NaCl 胁迫下甘草保护酶活性的影响

植物受到环境胁迫时,首先通过自身系统的特异保护机制来减轻环境对自身的伤害作用,即促进抗氧化酶类(SOD, POD, CAT)的活性^[30]。通常情况下,提高这些酶类的活性能提高植物在逆境中的适应性。已有大量研究表明,施加外源 Si 可以提高黄瓜^[31]、水稻^[32]、番茄^[33]、玉米^[34]等作物的抗氧化酶活性,增强作物清除活性氧的能力,使作物抗盐性增强。本研究结果表明,NaCl 胁迫下,加入适宜浓度 Si 使得甘草叶片 SOD 活性增加,通过增加酶类活性增强甘草自身防御系统,缓解 NaCl 胁迫对甘草的伤害作用。在甘草全生育期,甘草叶片 SOD 活性随着时间的变化呈现先增后降的趋势,加 Si 处理能够显著增加甘草叶片 SOD 活性,8 月份 SOD 活性达到峰值(32 967 U·mg⁻¹)。这可能由于甘草在生长旺盛期,整体代谢作用较强,对土壤中各种营养物质的运输和吸收增加,随着营养物质的吸收对 Si 的摄入量增加, Si 含量的增加促进 SOD 活性增加,达到缓解 NaCl 胁迫下对甘草受到的伤害,这与前人研究结果类似。朱永兴等^[35]发现外源硅可显著改善盐胁迫下番茄的生长,提高抗氧化酶的活性。过氧化物酶(CAT)也是植物体内活性较高的一类抗氧化酶,与植物的呼吸作用、光合作用等都息息相关^[36]。当植物受到 NaCl 的胁迫,引起叶绿体受到伤害,最终影响光合作用,使得光合代谢受到抑制^[37]。本试验研究发现相同浓度 Si 在不同月份对甘草叶片 POD 活性的影响不同,综合比较发现 Si₁ 和 Si₂ 处理对 POD 活性的诱导作用最佳,显著提高甘草叶片 POD 活性,这与樊哲仁等^[38]试验结果类似,即 Si 可显著提高盐胁迫下麻疯树(*Jatropha curcas*)幼苗叶片 POD 活性。过氧化物酶是植物中清除 H₂O₂ 的关键酶,占植物保护酶系统中过氧化物酶体酶总量的 40%, CAT 能催化 H₂O₂ 转化为 H₂O,它的存在可以充分调节植物在逆境条件下所受到的伤害^[26]。由本试验可以看出, Si 对 CAT 的调节作用最显著,在不同生育期,甘草叶片的 CAT 活性均在 Si 处理下显著提高,最高能增加 55.49%。综上所述, Si 可以通过诱导抗氧化酶活性的增加来缓解 NaCl 胁迫对甘草造成的伤害,从而使甘草保持较高的耐盐性^[24-25]。至于 Si 如何提高植物体抗氧化酶活性,其机理尚不很清楚,还有待于进一步深入研究。

3.2 Si 对 NaCl 胁迫下 MDA 含量和质膜相对透性的影响

植物在逆境下遭受伤害与活性氧积累诱发的膜脂过氧化作用密切相关,MDA 作为最终产物,是衡

量植物膜脂过氧化的标准,MDA 含量间接反映出植物在逆境胁迫下细胞膜受伤害程度。过多的活性氧会导致膜脂过氧化、膜的选择通透性丧失^[39]。李清芳等^[40]研究发现,施 Si 可使干旱胁迫下玉米叶片 MDA 含量升高,抑制了叶片细胞膜透性的增加,从而减轻了自由基对玉米叶片的伤害作用。王丽燕^[41]的研究结果表明外源 Si 可以提高盐胁迫条件下野生大豆(*Glycine soja*)的生长,降低叶片 MDA 含量。因此,通过提高防御活性氧或其它过氧化自由基对细胞膜系统的伤害,可以抑制膜脂过氧化,以减小 NaCl 胁迫对植物细胞的伤害。本试验结果表明,加 Si 处理后,甘草叶片 MDA 含量均显著降低,以 Si₂ 处理作用效果最显著。随着 MDA 含量的降低,质膜相对透性逐渐增加,显著高于对照 Si₀ 处理。MDA 含量的降低有助于减轻植物膜脂过氧化作用,有效保护了植物的细胞膜系统,使膜所受到的损伤大大减小,最终提高了 NaCl 胁迫下甘草叶片细胞膜的完整性和稳定性,在一定程度上缓解 NaCl 毒害对甘草的影响,增加甘草在 NaCl 胁迫下的抗性,促进甘草的生长发育,这与刘鸣达^[42]等研究结果类似。

3.3 Si 对 NaCl 胁迫下甘草可溶性蛋白含量及脯氨酸含量的影响

脯氨酸具有较强的水合能力,是一种理想的有机渗透调节物质,可有效保护细胞膜系统^[29]。逆境胁迫导致植物脯氨酸含量增加,防止叶片细胞渗透势增加,终造成细胞脱水。大量研究发现,脯氨酸含量的变化既可以用来表现植物细胞结构和功能受到损伤,又可以看作植物对逆境胁迫的适应性反应^[43]。本试验结果表明:加 Si 处理显著降低甘草叶片脯氨酸含量。由此看出,适宜的 Si 浓度可以通过缓解逆境胁迫,促进渗透物质含量提高,使甘草叶片保持较高的相对含水量,达到稳定生物大分子结构,保护细胞膜系统的目的。甘草叶片脯氨酸含量在加 Si 处理后呈现降低趋势,甘草叶片脯氨酸含量降低说明 NaCl 胁迫对甘草叶片的毒害作用得到缓解。Si 可能通过甘草代谢吸收营养物质的同时被运输至甘草内部被吸收利用,这也间接说明 Si 可能参与甘草植株的代谢活动,通过代谢途径有效地保护细胞膜系统,缓解 NaCl 胁迫对甘草的伤害,促进甘草的生长发育。可溶性蛋白质其含量的变化较为敏感,是衡量逆境胁迫下植物代谢变化的生理指标之一^[28],大量研究发现逆境胁迫会抑制蛋白质的合成,甚至通过分解一部分合成的蛋白质来缓解逆境胁迫对植物代谢的抑制作用^[44]。通常逆境条件会增加植物叶片细胞的渗透势,适量的可溶性蛋白有助于维持细胞保持较低的渗透势。王海红等^[45]研究表明 Si 可以促进黄瓜体内可溶性蛋白质的产生,

有益于黄瓜(*Cucumis sativus*)叶片的物质代谢。本研究表明,NaCl 胁迫下, Si₀ 处理中甘草叶片中可溶性蛋白含量随着时间推移而降低,加 Si 处理与对照相比可显著提高可溶性蛋白含量,最高可增加 39.72%。由此可见, Si 的加入调控了逆境下甘草的代谢过程,使得植物受到的伤害得到缓解,促进可溶性蛋白合成,有助于细胞维持较低的渗透势,缓解 NaCl 对甘草叶片的毒害作用。这一结果与王海红等^[24]在黄瓜上的结果基本一致。

本试验利用甘草为研究对象,研究 NaCl 胁迫下 Si 对两年生甘草的作用,通过测量各生理生化指标发现 Si 可以通过增加甘草的抗氧化酶活性,增强活性氧清除能力和抗膜质过氧化能力来抵御 NaCl 胁迫所带来的伤害作用。在研究过程中发现 Si 对 NaCl 胁迫的缓解作用具有一定的浓度效应,最佳浓度也受到生育期的影响, Si 在代谢旺盛期的作用最佳。这间接证明 Si 通过参与甘草的代谢过程来缓解 NaCl 的胁迫作用,对于有效提高甘草耐盐水平具有重要实践意义。后期会通过对 Si 浓度的测定来寻找与这些生理指标的相关性,进一步探讨 Si 的缓解机制,为 Si 对药用植物甘草在盐渍环境中的施用浓度提供一定理论依据,完善 Si 缓解盐对药用植物毒害作用领域的研究。

参 考 文 献:

[1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典(一部)[M]. 北京: 化学工业出版社, 2010: 80-81.

[2] 刘洋洋, 刘春生, 曾斌芳, 等. 甘草种质资源研究进展[J]. 中草药, 2013, 44(24): 3593-3598.

[3] 唐晓敏. 水分和盐分处理对甘草药材质量的影响[D]. 北京: 北京中医药大学, 2008.

[4] 魏胜利, 王文全, 王 海. 我国中西部地区甘草资源及其可持续利用的研究[J]. 中国中药杂志, 2003, 28(3): 202-206.

[5] 王继永, 刘春生, 王文全. 中国东北地区甘草资源考察报告[J]. 中国中药杂志, 2003, 28(4): 308-312.

[6] 刘广明, 塔依尔, 杨劲松, 等. 中性盐胁迫对乌拉尔甘草种子萌发的影响研究[J]. 土壤, 2011, 43(1): 135-139.

[7] 左佳琦, 谢佳恒, 薛宇轩, 等. 褪黑素对缓解植物逆境胁迫作用的研究进展[J]. 基因组学与应用生物学, 2014, 33(3): 709-715.

[10] 高 丹, 陈基宁, 蔡昆争, 等. 硅在植物体内的分布和吸收及其在病害逆境胁迫中的抗性作用[J]. 生态学报, 2010, 30(10): 2745-2755.

[11] 刘景凯, 刘世琦, 冯 磊, 等. 硅对青蒜苗生长、光合特性及品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(4): 989-997.

[12] 段娇娇, 于建龙, 王锁民, 等. 钠硅互作提高白刺抗旱性的研究[J]. 草业学报, 2012, 22(2): 203-210.

[13] 沈 慧, 米永伟, 王龙强. 外源硅对盐胁迫下黑果枸杞幼苗生理特性的影响[J]. 草地学报, 2012, 20(3): 553-558.

[14] 陈兵兵, 石元亮, 陈智文. 不同 P、K、Si 肥对玉米苗期抗寒效果的研究[J]. 中国农学通报, 2011, 27(3): 85-89.

[15] 宁东峰, 梁永超. 硅调节植物抗病性的机理: 进展与展望[J].

植物营养与肥料学报, 2014, 12(3): 4182-4187.

[18] 万春阳. 盐分对甘草酸和甘草苷积累的影响及其作用机制研究[D]. 北京: 北京中医药大学, 2011.

[19] 刘慧霞, 申晓蓉, 郭正刚. Si 对紫花苜蓿种子萌发及幼苗生长发育的影响[J]. 草业学报, 2011, 20(1): 155-160.

[20] 杨少辉, 季 静, 王 罡. 盐胁迫对植物的影响及植物的抗盐机理[J]. 世界科技研究与发展, 2006, 28(4): 70-76.

[21] 刘 媛, 王仕稳, 殷俐娜, 等. Si 提高黄瓜幼苗抗盐能力的生理机制研究[J]. 西北植物学报, 2014, 34(5): 988-994.

[22] 张志良, 瞿伟菁. 植物生理学实验指导(第三版)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2003: 123-124.

[23] 崔佳佳, 张新慧, 李月彤, 等. 外源 Si 对盐胁迫下甘草幼苗形态及生理指标的影响[J]. 草业学报, 2015, 24(10): 214-220.

[24] 刘 筱, 易守理, 高素萍. 铅胁迫对紫萼玉簪幼苗 SOD、POD 和 CAT 活性的影响[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(14): 8244-8246.

[25] 王玉萍, 于 丹, 李 成, 等. 壳聚糖对盐胁迫下小麦种子萌发及幼苗生理特性的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2016, 34(1): 180-185.

[26] 陈金峰, 王官南, 程素满. 过氧化氢酶在植物胁迫响应中的功能研究进展[J]. 西北植物学报, 2008, 28(1): 188-193.

[27] 雷玉娟, 张振文, 白团辉, 等. 硅对盐胁迫下葡萄幼苗生理效应的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2008, 26(5): 165-168.

[28] 唐晓敏, 王文全, 张红瑞, 等. 不同浓度 NaCl 处理对甘草叶片生理特性的影响[J]. 中国农学通报, 24(1): 229-232.

[29] 曾路生, 廖 敏, 黄昌勇, 等. 镉污染对水稻土微生物量、酶活性及水稻生理指标的影响[J]. 应用生态学报, 2005, 16(11): 2162-2167.

[30] 段德玉, 刘小京, 李存桢. 不同盐分与水分胁迫对灰绿藜种子萌发效应研究[J]. 中国生态农业学报, 2005, 13(2): 32-37.

[31] 高青海, 王亚坤, 陆晓民. 硅对铵态氮胁迫下黄瓜幼苗生理特性的影响[J]. 应用生态学报, 2014, 25(5): 1395-1400.

[32] 张翠翠, 赵全志, 高素玲, 等. 硅处理对镉胁迫下水稻产量及植株生理特性的影响[J]. 核农学报, 2012, 26(6): 936-941.

[34] 束良佐, 刘惠英. 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.

[35] 朱永兴, 李换丽, 宫海军, 等. 硅酸盐提高番茄抗盐性的效应与生理机制[J]. 农业环境科学学报, 2015, 34(2): 213-220.

[36] 田国忠, 李怀方, 裘维蕃. 植物过氧化物酶研究进展[J]. 武汉植物学研究, 2001, 19(4): 332-344.

[37] 杨 帆, 丁 菲, 杜天真, 等. 土壤盐胁迫对构树幼苗生理特性的影响[J]. 江西农业大学学报, 30(4): 684-688.

[38] 樊哲仁, 王晓东, 唐 琳. 硅对盐胁迫下麻疯树种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 中国油料作物学报, 2010, 32(2): 217-221.

[40] 李清芳, 马成仓, 尚启亮. 干旱胁迫下硅对玉米光合作用和保护酶的影响[J]. 应用生态学报, 2007, 18(3): 531-536.

[41] 王丽燕. 硅对野生大豆幼苗耐盐性的影响及其机制研究[J]. 大豆科学, 2013, 32(5): 659-663.

[42] 刘鸣达, 王丽丽, 李艳利. 镉胁迫下硅对水稻生物量及生理特性的影响[J]. 中国农学通报, 2010, 26(13): 187-190.

[43] 纪秀娥, 许青华. 水体镉污染对小麦种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(31): 15193-15194, 15237.

[44] 范小峰, 杨颖丽, 程转霞. NaCl 胁迫下唐古特白刺愈伤组织生理生化变化研究[J]. 干旱地区农业研究, 2009, 27(3): 203-207.

[45] 王海红, 祝鹏飞, 束良佐, 等. 硅对低温胁迫下黄瓜幼苗生长的影响[J]. 生命科学, 2011, 2(15): 38-42.