

# 硅对不同程度干旱胁迫下甘草种子萌发和幼苗生长的影响\*

张文晋<sup>1</sup>, 解植彩<sup>1</sup>, 张新慧<sup>1,2\*\*</sup>, 郎多勇<sup>3</sup>

(1. 宁夏医科大学药学院 银川 750004; 2. 宁夏回药现代化工程技术研究中心 / 宁夏回医药协同创新中心 / 回医药现代化省部共建教育部重点实验室 银川 750004;  
3. 宁夏医科大学 实验动物中心 银川 750004)

**摘要:**目的:研究不同程度干旱胁迫下硅对甘草种子萌发和幼苗生长阶段的调控效应及其最佳浓度。方法:通过水培发芽试验,采用不同浓度 PEG-6 000 水溶液模拟干旱胁迫环境,根据生产实践设置较多水平的干旱胁迫(0%、5%、10%、15%、20%、25%、30% PEG-6 000),设置了3个硅( $K_2SiO_3$ )浓度(0、1、3 mM)。结果:轻中度(5%–15% PEG)干旱胁迫对甘草种子萌发和幼苗生长没有明显的抑制,重度( $\geq 20\%$  PEG)干旱胁迫明显抑制甘草生长、降低其幼苗生物量。施硅能显著促进试验所设条件下甘草种子萌发及其幼苗生长,且这种促进效应因硅浓度和干旱胁迫程度而异,具体表现为:在所有干旱条件下1 mM 硅的促进作用明显强于3 mM,就1 mM 硅而言,在重度( $\geq 20\%$  PEG)干旱胁迫下的促进作用强于轻中度(5%–15% PEG)干旱胁迫。结论:硅参与了干旱条件下甘草生长发育的生理生化进程,从而缓解干旱胁迫,促进其生长,但硅具体参与了哪些生理生化过程,需要进一步证实。

**关键词:**甘草 干旱胁迫 硅 种子萌发 调控范围

doi :10.11842/wst.2016.12.017 中图分类号 :R931.2 文献标识码 :A

甘草为豆科(Leguminosae)甘草属灌木状多年生草本植物甘草 *Glycyrrhiza uralensis* Fisch. 的干燥根及根茎,是中国2 000多种草药中用量最大的一味药材<sup>[1]</sup>。其地下根及根茎具有清热解毒、润肺止咳、补脾和胃、调和诸药等功效,素有“美草”、“众药之王”、“十方九草”之美誉<sup>[2]</sup>。甘草主要分布于中国半干旱气候区如东北、华北、西北地区,其地下部发达,具有抗寒耐热、抗盐耐旱等优良特性<sup>[3,4]</sup>。然而,研究表明干旱胁迫对甘草生长发育有一定的抑制作用。当土壤相对含水量在40%以下时,甘草生长被显著抑制<sup>[5]</sup>;重度(25% PEG-6 000)干旱胁迫对甘

草种子萌发有明显的抑制作用<sup>[6]</sup>。目前,干旱胁迫已成为影响人工栽培甘草产量和质量的重要因素之一,而有关栽培甘草抗旱特性方面的研究报道还比较少。

虽然,植物生长过程中受氮、磷、钾、钙、硫、硅等综合因子的影响,但硅元素在提高植物抗逆性方面有独特的优势。硅是环境友好型元素,也是植物生长的有益元素<sup>[7]</sup>。相关研究证实,添加硅能有效促进植物生长,增强植物的抗逆性,如增强植物抵抗干旱、盐碱胁迫、重金属污染及病虫害的能力<sup>[8-10]</sup>。目前,有关干旱条件下外源硅对植物的影响主要集中在禾本科植物水稻 *Oryza sativa* L.<sup>[11]</sup>、小麦 *Triticum aestivum* L.<sup>[12]</sup> 及牧草类和蔬菜类作物草坪草<sup>[13]</sup>、草

收稿日期 2016-10-09

修回日期 2016-11-12

\* 国家自然科学基金委地区科学基金项目(31260304) :硅提高盐胁迫下甘草药材产量和甘草酸含量的潜力及机制,负责人 张新慧,国家自然科学基金委地区科学基金项目(31460330) :旱盐逆境下硅提高甘草综合水分利用效率的生理生态机制,负责人 张新慧。

\*\* 通讯作者 张新慧 副教授,博士,主要研究方向 药用植物资源与利用方面的研究。

莓<sup>[14]</sup>等含硅量高的植物上,而对含硅量很低(小于1%)的豆科植物研究较少,且对甘草的相关研究未见报道。何淑平等<sup>[15]</sup>研究发现施用不同浓度的硅能有效缓解PEG-6 000(-0.315 MPa)模拟的干旱胁迫对四棱豆幼苗生物量积累的抑制。Liu H X<sup>[16]</sup>等研究发现,硅对苜蓿 *Medicago sativa* L. 生物量和水利用效率的促进作用因水分条件而异。此外,虽然土壤中硅含量很高,但植物可吸收的可溶性硅酸盐( $H_4SiO_2$ )含量较低,从而限制了植物对土壤原有硅的吸收。一般来说,土壤中易风化矿物含量高时,植物可吸收硅含量就高;细质土壤硅含量更高,砂粒中硅含量低于黏粒。而西北地区以沙质土壤为主,有效硅含量相对缺乏。此外,研究表明,硅肥与磷或氮、磷混用,可提高施肥效果。由此可知,在西北甘草产区考虑施用硅肥有较大的发展空间。

另一方面,前期研究表明,干旱胁迫下施硅对植物生长具有调节作用<sup>[15]</sup>,且此作用因胁迫程度而异<sup>[17,18]</sup>。但是,大多数相关研究对干旱胁迫水平的设置范围较窄,主要集中在10%-20% PEG-6 000<sup>[15,19]</sup>,这就无法全面反映复杂的自然水分条件,也无法更好地确定硅能调控干旱胁迫的范围及其最佳浓度。

基于此,为明确硅对干旱胁迫下豆科药用植物甘草生长发育的调控范围及效应,本研究通过培养皿滤纸床进行水培发芽试验,采用不同浓度PEG-6 000水溶液模拟干旱胁迫环境,根据生产实践设置较多水平的干旱胁迫范围,来研究不同程度干旱胁迫下硅对甘草种子萌发和幼苗生长阶段的调控范围及其最佳浓度,为硅对干旱胁迫的调控是否有一定的范围,以及在同一干旱水平这种调控效应是否与硅浓度相关提供一定的理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 主要仪器与试剂

CP114 分析天平(中国,奥豪斯仪器有限公司); HT-1 数显游标卡尺(中国,香港杭泰量具刃具集团)。

甘草种子收获于2015年,经宁夏医科大学药学院张新慧副教授鉴定为甘草 *Glvarrhiza uralensis* Fisch. 种子。净种后,将其装入牛皮纸袋置于冰箱冷藏室贮藏。聚乙二醇(PEG-6 000)为分析纯(徐州天鸿化工有限公司,生产批号:20151210);硅酸钾( $K_2SiO_3$ )为分析纯(上海麦克林生化科技有限公司,生产批号:20151224)。

### 1.2 种子预处理

本试验精选籽粒饱满、大小均一的甘草种子,先用85%浓 $H_2SO_4$ 浸润45 min,不定时搅拌,然后用蒸馏水冲洗3遍,再用0.1%的 $H_2O_2$ 消毒10 min,最后用蒸馏水冲洗数次至无黏性,洗净后置于烧杯中用蒸馏水浸泡12 h使种子充分吸水,待用。

### 1.3 试验设计

采用PEG-6 000模拟不同程度的干旱胁迫,结合生产实践及预实验结果,本试验设置0%(CK)、轻度(5%、10% PEG-6 000)、中度(15%、20% PEG-6 000)、重度(25%、30% PEG-6 000)7个干旱胁迫浓度;硅源采用 $K_2SiO_3$ ,硅处理浓度设置为0、1、3 mM共3个浓度;共计21个处理。选取充分吸水、饱满均一的甘草种子,吸干表面水分,将其均匀摆放在垫有双层无菌滤纸并加入5 mL不同浓度处理溶液的培养皿(9 cm × 9 cm × 3 cm)中进行萌发,每皿50粒。实验条件为光照/黑暗(12/12 h,28/20)。每天用称重法加蒸馏水至恒质量以保持恒定的处理液浓度。逐日统计种子发芽数(以胚根长>1 mm为标准)。实验结束时,测定幼苗胚芽、胚根的长度、粗度及幼苗鲜干重。

### 1.4 指标计算

各指标计算公式如下:发芽率 = 供试种子发芽数 / 供试种子数 × 100%,发芽指数 =  $G_t / D_t$ ,幼苗活力指数 = 发芽指数 × S( $G_t$ 为第t日的发芽数, $D_t$ 为发芽天数,S为第10天的幼苗长度)。

### 1.5 数据分析

试验数据采用SPSS 17.0软件进行方差分析和显著性检验,多重比较用Duncan法( $P < 0.05$ );采用Excel 2003作图。各图中的数据均为5次重复的平均值。

## 2 结果与分析

### 2.1 硅对不同程度干旱胁迫下甘草种子萌发的影响

试验结果见图1、图2。由图1-A、图2-A可知,干旱对甘草种子萌发的影响因胁迫程度不同而异。相比对照组,5% - 15% PEG胁迫提高了甘草种子的发芽率、发芽指数,而 $\geq 20\%$  PEG胁迫显著降低了甘草种子发芽率、发芽指数。由图1-B可以看出,与同一胁迫下不加硅对照相比,在实验所设定的所有条件下,1 mM硅对甘草种子发芽率均有明显的提高作用;而3 mM硅仅提高了CK、10% PEG、20% PEG

条件下甘草种子的发芽率。由图 2-B 可以看出,与同一胁迫下不加硅对照相比,在 CK、5% PEG 和 20% PEG 条件下,1 mM 硅显著提高了甘草种子的发芽指数。3 mM 硅显著提高了 CK 和 10% PEG 条件下的发芽指数;而在 15% PEG 胁迫下,3 mM 硅对发芽指数有明显的抑制作用。

## 2.2 硅对不同程度干旱胁迫下甘草幼苗活力指数的影响

由图 3-A 可以看出,干旱胁迫  $\geq 20\%$  PEG 显著降低甘草幼苗活力指数。而轻中度(5% - 15% PEG)胁迫对甘草幼苗活力指数没有显著影响。由图 3-B 可以看出,与同一胁迫下不加硅对照相比,CK 和  $\leq 25\%$  PEG 条件下,1 mM 硅提高了甘草幼苗活力指数。而 3 mM 硅仅在 10% PEG 胁迫下显著提高了甘草幼苗活力指数。

## 2.3 硅对不同程度干旱胁迫下甘草幼苗生长的影响

### 2.3.1 硅对胚根长度和胚芽长度的影响

硅对干旱胁迫下甘草胚根长度和胚芽长度的影响因干旱胁迫程度、硅浓度和幼苗部位而异。由图 4-A 和 5-A 可以看出:与对照相比,10% PEG、15% PEG 和 30% PEG 胁迫可以显著减小胚根长度;而胁迫程度  $\geq 10\%$  PEG 则显著减小胚芽长度,且胚芽长度随着干旱胁迫程度加剧呈降低趋势。由图 4-B 可以看出,与同一胁迫下不加硅对照相比,1 mM 硅在轻中度(5% - 15% PEG)胁迫下增加胚根长度而在的 CK 条件下减小胚根长度。3 mM 硅显著减小了 CK、20% PEG 和 25% PEG 条件下甘草的胚根长度。由图 5-B 可以看出,与同一胁迫下不加硅对照相比,1 mM 硅在 10%-25% PEG 胁迫下增加胚芽长度而在的 CK 条件下减小胚芽长度。3 mM 硅显著减小 CK 和 5% PEG 条件下甘草的胚芽长度。

### 2.3.2 硅对幼苗生物量的影响

由图 6-A 可以看出,与对照相比,5%-15% PEG 胁迫对甘草幼苗干重没有明显影响;而  $\geq 20\%$  PEG 干旱胁迫可以显著减小甘草幼苗干重。由图 6-B 可以看出,与同一胁迫下不加硅对照相比,在实验所设定的所有条件下,1 mM 硅对甘草幼苗干重均有明显的提高作用,且在 15% PEG 胁迫下达到最大值。而 3 mM 硅仅在 CK、5% PEG、10% PEG 和 20% PEG 条件下对甘草幼苗干重有明显的促进作用。

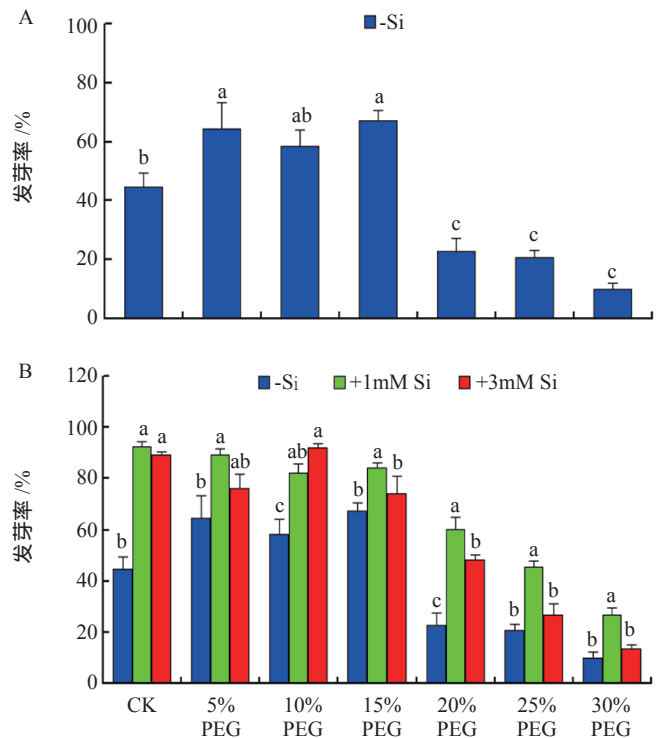


图 1 干旱胁迫 (A) 和硅对不同程度干旱胁迫下 (B) 甘草种子发芽率的影响

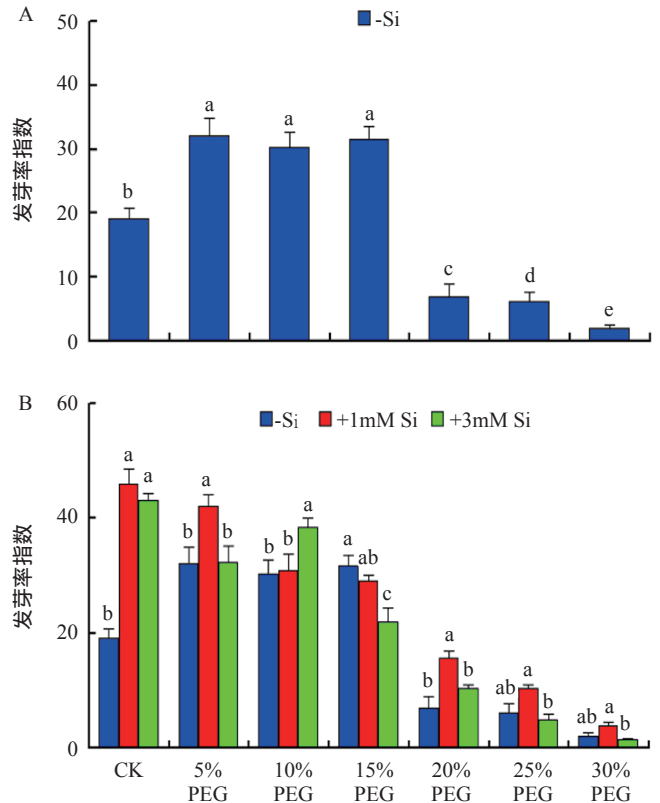


图 2 干旱胁迫 (A) 和硅对不同程度干旱胁迫下 (B) 甘草种子发芽指数的影响

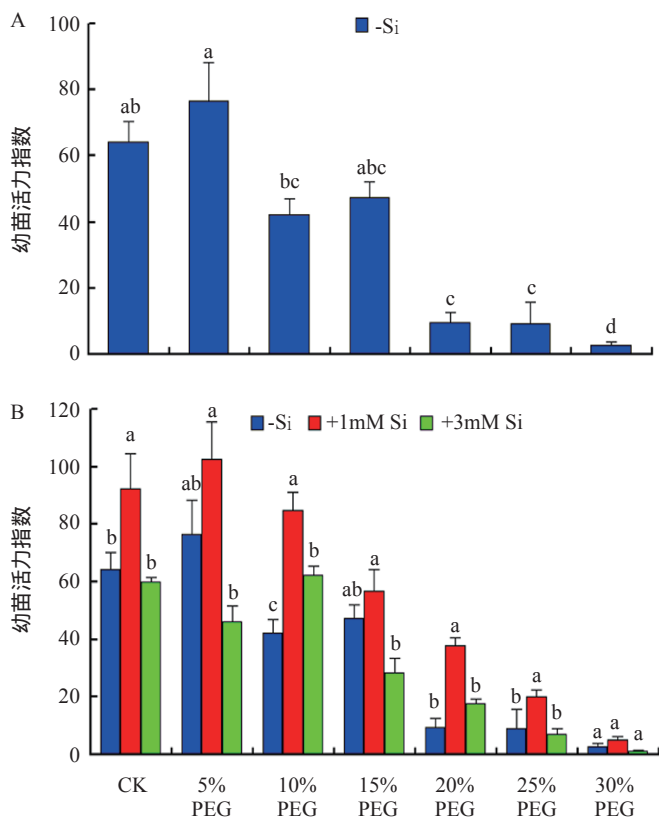


图3 干旱胁迫 (A) 和硅对不同程度干旱胁迫下 (B) 甘草幼苗活力指数的影响

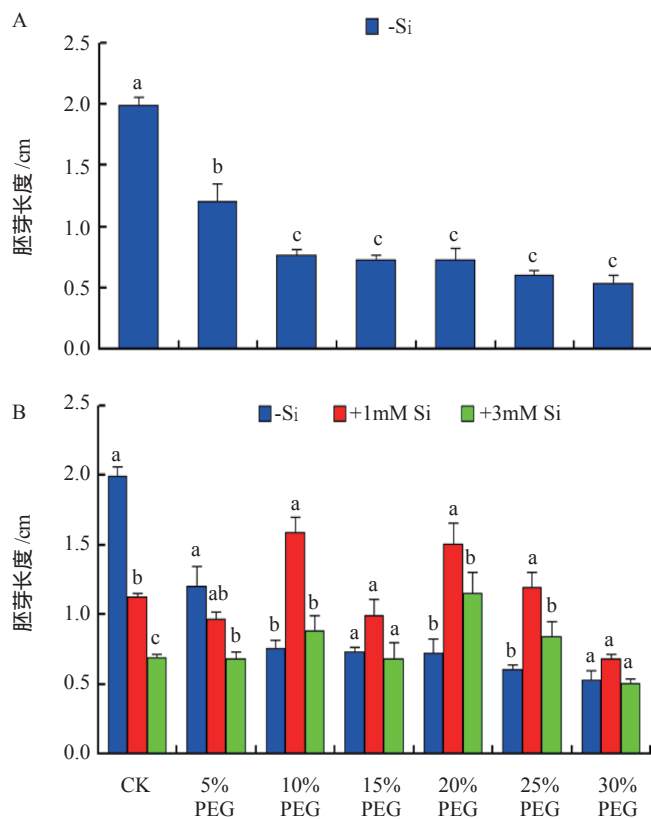


图5 干旱胁迫 (A) 和硅对不同程度干旱胁迫下 (B) 甘草幼苗胚芽长度的影响

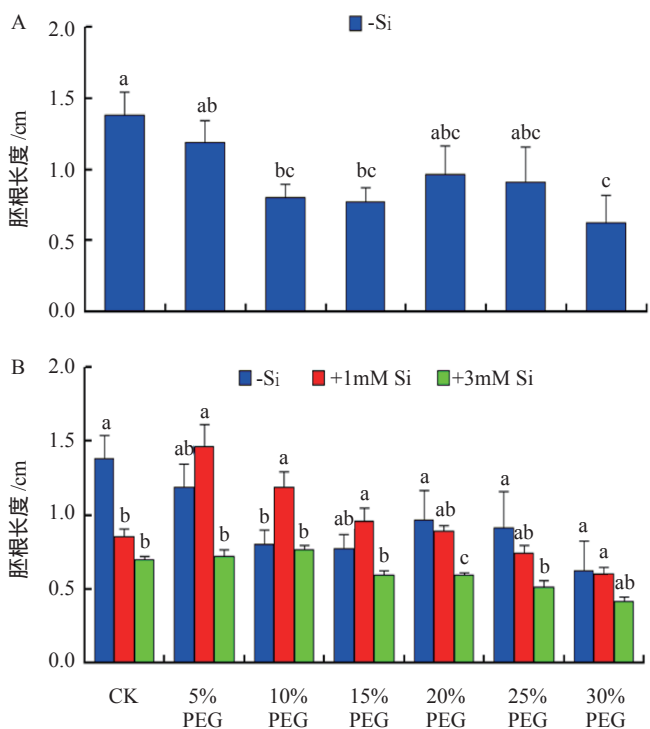


图4 干旱胁迫 (A) 和硅对不同程度干旱胁迫下 (B) 甘草幼苗胚根长度的影响

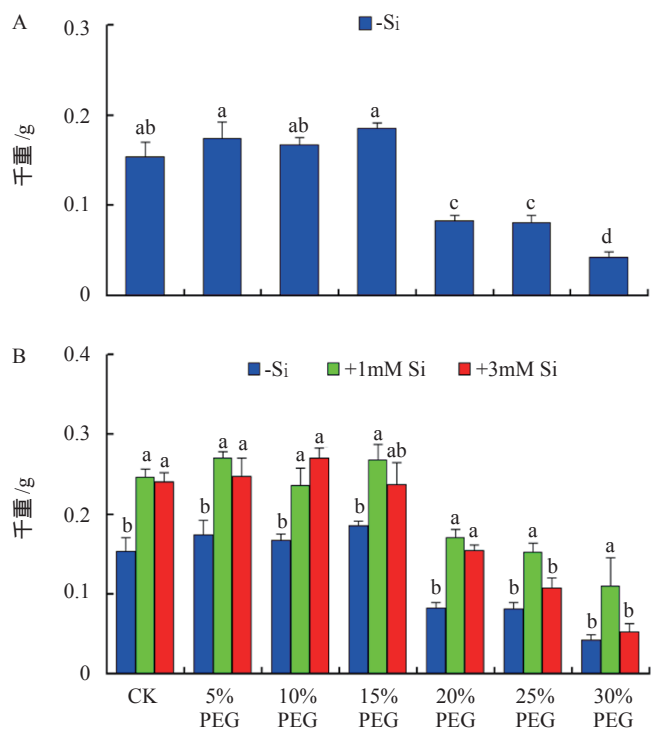


图6 干旱胁迫 (A) 和硅对不同程度干旱胁迫下 (B) 甘草幼苗干重的影响



### 3 讨论

种子萌发阶段在植物体生活史中至关重要,是植物在所处环境中能否正常生存的决定因素<sup>[4]</sup>。这一阶段发育的好坏,不仅影响植物种子的播种品质,也可能影响到下一代种子的正常发育和形态长成<sup>[20]</sup>。处理种子的根本目的是减轻其发芽和幼苗生长时环境中的各种生物和非生物胁迫。植物生长是表征干旱胁迫时植物生理反应的敏感指标,许多植物的叶水势在 $-0.2$ 至 $-0.4$  MPa时,生长速率就迅速下降<sup>[21]</sup>。已有研究表明,干旱胁迫下,硅可以改善许多植物的生长状况<sup>[22]</sup>,提高其抗旱性<sup>[23]</sup>。

研究发现,干旱胁迫抑制种子萌发,且胁迫程度越高,受抑制现象越明显<sup>[18]</sup>。本试验结果表明,5%–15% PEG胁迫提高了甘草种子萌发(发芽率、发芽指数),这是由于甘草本身具有一定的耐旱特性,适度干旱胁迫反而有利于甘草种子萌发。而当干旱胁迫 $\geq 20\%$  PEG时,甘草种子的发芽率、发芽指数、幼苗活力指数均显著低于对照和其他处理,有明显的抑制作用。这与刘长利<sup>[24]</sup>等对干旱胁迫下甘草种子吸胀萌发研究的结果相似,而与干旱胁迫下苦豆子<sup>[25]</sup>、大豆<sup>[26]</sup>等种子的萌发生长规律不一致,说明甘草种子对干旱胁迫有特殊的适应机制。

大量研究表明,施硅能显著提高干旱胁迫下草坪草<sup>[13]</sup>、党参<sup>[18]</sup>种子的萌发。本试验结果表明,外源硅没有影响干旱胁迫下甘草种子的初始萌发时间,但1 mM硅在一定程度上提高了试验条件下甘草种子的发芽率、发芽指数和幼苗活力指数。这说明外源硅不能改变甘草种子品质的优劣,但能增强种子活力,进而提高其萌发质量。结果也表明,硅对干旱胁迫下甘草种子萌发的促进作用因干旱胁迫程度而异,具体而言,在重度( $\geq 20\%$  PEG)干旱胁迫下的促进作用强于轻中度(5%–15% PEG)干旱胁迫。这与前人研究发现硅的加入可有效促进干旱胁迫下党参<sup>[18]</sup>、草地草<sup>[13]</sup>种子的萌发,并且胁迫程度越强,促进效果越好一致。虽然目前公认硅是植物生长发育的有益元素,但已研究表明硅浓度过高,则对植物生长表现出一定程度的抑制作用<sup>[27]</sup>,本试验结果证实,在所有干旱条件下1 mM硅的促进作用明显强于3 mM。由此可见,同一干旱水平下硅对胁迫的调控效应与硅浓度相关,而调节植物生长发育的最佳硅

浓度尚需进一步研究。

植物对干旱胁迫的反应首先是生长受到抑制。本研究发现干旱胁迫减小了甘草幼苗胚根和胚芽长度,且PEG-6 000浓度越高,对甘草幼苗株高生长的抑制作用越强,而对根系的生长抑制作用较小。这表明干旱胁迫下发芽种子会自动调节地上与地下器官比例,使其有限的营养物质和水分优先满足根部生长,通过加快根系的伸长以吸收水分<sup>[25]</sup>。本研究也表明,在干旱胁迫抑制甘草生长的前提下,外源硅促进了干旱条件下甘草幼苗根茎叶的生长,这点从硅处理条件下甘草幼苗的生物量显著高于与对照组得到佐证。但是硅对甘草幼苗根茎叶生长的影响因胁迫水平、硅浓度和幼苗部位而异。

生物量是植物对干旱胁迫反应的综合体现,也是植物耐旱性的直接指标。本试验结果表明,5%–15% PEG胁迫对甘草幼苗干重没有明显影响,但是 $\geq 20\%$  PEG胁迫明显减小了甘草幼苗干重。这与刘长利等<sup>[24]</sup>的研究结果类似。许多研究证明,干旱条件下施加外源硅能提高草莓<sup>[14]</sup>、小麦<sup>[28]</sup>、黄瓜<sup>[29]</sup>等生物量的积累。由本研究结果可知,硅可以提高干旱胁迫下甘草幼苗生物量的积累,且在重度( $\geq 20\%$  PEG),硅对甘草幼苗生物量积累的促进作用更加明显。

本实验设置较多水平的干旱胁迫范围,旨在研究不同程度干旱胁迫下硅对甘草种子萌发和幼苗生长阶段的调控范围及其最佳浓度。综合考虑测定指标得出:轻中度(5%–15% PEG)干旱胁迫对甘草种子萌发和幼苗生长没有明显的抑制,重度( $\geq 20\%$  PEG)干旱胁迫明显抑制甘草生长、降低其幼苗生物量;添加硅能明显促进试验所设条件下甘草种子萌发和幼苗生长,但是这种影响效益因硅浓度和干旱胁迫程度而异,具体表现为:在所有干旱条件下1 mM硅的促进作用明显强于3 mM;就1 mM硅而言,在重度( $\geq 20\%$  PEG)干旱胁迫下的促进作用强于轻中度(5%–15% PEG)干旱胁迫。由此可见,外源硅直接参与了干旱胁迫下甘草生长发育的生理生化过程,从而缓解干旱胁迫,促进甘草幼苗生长,但硅具体参与了哪些生理生化过程,尚需进一步研究阐明。本文对西北甘草产区合理应用硅肥也有一定的指导意义。

## 参考文献

- 郭明晔, 张燕玲, 李洋, 等. HPLC 法同时测定甘草及甘草头中 4 种成分含量. 世界科学技术 - 中医药现代化, 2014, 16(2): 358-363.
- 饶小莉, 沈德龙, 李俊, 等. 甘草内生细菌的分离及拮抗菌株鉴定. 微生物学通报, 2007, 34(4): 700-704.
- 杨江山, 张恩和, 黄高宝, 等. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, NaCl, SA 处理对磨砂后甘草种子发芽特性的影响. 甘肃农业大学学报, 2009, 44(5): 88-91.
- 张新慧, 郎多勇, 白长财, 等. 外源硅对不同程度盐胁迫下甘草种子萌发和幼苗生长发育的影响. 中草药, 2014, 45(14): 2075-2079.
- 唐晓敏. 水分和盐分处理对甘草药材质量的影响. 北京: 北京中医药大学博士学位论文, 2008.
- 马海鸽, 蒋齐, 王占军, 等. PEG 胁迫下野生甘草种子萌发和幼苗生长. 草业科学, 2014, 31(8): 1487-1492.
- 王佳丽, 黄贤金, 钟大洋, 等. 盐碱地可持续利用研究综述. 地理学报, 2011, 66(5): 673-684.
- Sarwar N, Saifullah, Malhi S S, *et al.* Role of mineral nutrition in minimizing cadmium accumulation by plants. *J Sci Food Agric*, 2010, 90: 925-937.
- Shen X, Zhou Y, Duan L, *et al.* Silicon effects on photosynthesis and antioxidant parameters of soybean seedlings under drought and ultraviolet-bradiation. *J Plant Physiol*, 2010, 167: 1248-1252.
- Guntzer F, Keller C, Meunier J D. Benefits of plant silicon for crops: a review. *Agron Sustain Dev*, 2012, 32: 201-213.
- Chen W, Yao X, Cai K, *et al.* Silicon alleviates drought stress of rice plants by improving plant water status, photosynthesis and mineral nutrient absorption. *Biol Trace Elem Res*, 2011, 142(1): 67-76.
- Zhao Z G, Chen G C. Effects of silicon on defense of wheat against oxidative stress under drought at different developmental stages. *Biologia Plantarum*, 2008, 52(3): 592-596.
- 王晨, 左昆, 柴琦, 等. 干旱条件下硅对草地早熟禾生长初期的影响. 草业科学, 2008, 25(7): 114-117.
- 王耀晶, 马聪, 张薇, 等. 干旱胁迫下硅对草莓生长及生理特性的影响. 核农学报, 2013, 27(5): 703-707.
- 何淑平, 靳亚忠, 王鹏. 硅对干旱胁迫下四棱豆幼苗生物量和生理特性的影响. 水土保持学报, 2015, 29(2): 263-266.
- Liu H X, Guo Z G. Forage Yield and Water Use Efficiency of Alfalfa Applied with Silicon under Water Deficit Conditions. *Philipp Agric Sci*, 2014, 96 (4): 370-376.
- 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. 应用生态学报, 2007, 18(3): 531-536.
- 王惠珍, 杜戮, 陆国弟, 等. 硅提高干旱胁迫下党参种子萌发潜力研究. 甘肃中医学院学报, 2015, 1: 30-33.
- 李明, 王根轩. 干旱胁迫对甘草幼苗保护酶活性及脂质过氧化作用的影响. 生态学报, 2002, 22(4): 503-507.
- 石玉, 张毅, 王缓, 等. 硅对水分胁迫下番茄种子萌发的有益作用. 中国植物学会植物细胞生物学 2012 学术年会, 2012.
- 刘友良. 植物水分逆境生理. 北京: 中国农业出版社, 1992: 57.
- Hattori T, Inanaga S, Araki H, *et al.* Application of silicon enhanced drought tolerance in Sorghum bicolor. *Physiol Plant*, 2005, 123(4): 459-466.
- Gong H, Chen K, Chen G, *et al.* Effects of silicon on growth of wheat under drought. *J Plant Nutr*, 2003, 26(5): 1055-1063.
- 刘长利, 王文全, 魏胜利. 干旱胁迫对甘草种子吸胀萌发的影响. 中草药, 2004, 35(12): 1402-1405.
- 王进, 罗光宏, 颜霞, 等. 干旱胁迫对苦豆子种子吸胀萌发和幼苗生长的影响. 中草药, 2011, 42(9): 1807-1811.
- 高小宽, 白丽荣, 刘国杰. 干旱胁迫对大豆种子萌发及幼苗生长的影响. 湖北农业科学, 2012, 51(24): 5618-5620.
- 余群. 干旱胁迫下硅肥对草地早熟禾苗期生长发育的影响. 兰州: 兰州大学硕士学位论文, 2014.
- 丁燕芳, 梁永超, 朱佳, 等. 硅对干旱胁迫下小麦幼苗生长及光合参数的影响. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(3): 471-478.
- Ma C C, Li Q F, Gao Y B, *et al.* Effects of silicon application on drought resistance of cucumber plants. *Soil Sci & Plant Nutr*, 2004, 50(5): 623-632.

## Effects of Silicon on Seed Germination and Seedling Growth of *Glycyrrhiza uralensis* under Different Levels of Drought Stress

Zhang Wenjin<sup>1</sup>, Xie Zhicai<sup>1</sup>, Zhang Xinhui<sup>1,2</sup>, Lang Duoyong<sup>3</sup>

(1. College of Pharmacy, Ningxia Medical University, Yinchuan 750004, China;

2. Ningxia Engineering and Technology Research Center of Hui Medicine Modernization / Ningxia Collaborative Innovation Center of Hui Medicine / Key Laboratory of Hui Medicine Modernization Ministry of Education, Yinchuan 750004, China;

3. Laboratory Animal Center, Ningxia Medical University, Yinchuan 750004, China)

**Abstract:** This study aimed at investigating the regulatory effects of silicon on the seed germination and seedling growth of *G. uralensis* and the optimum concentration of silicon under different levels of drought stress. A water-

culture experiment was conducted, while various levels of drought stress were stimulated by 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25% and 30% PEG-6000 according to production practice and three different concentrations (0, 1, 3 mM) of  $K_2SiO_3$ . As a result, mild and moderate drought stress (5% -15% PEG) presented no significant inhibitory effects on the seed germination and seedling growth of *G. uralensis*, while severe drought stress ( $\geq 20\%$  PEG) significantly suppressed its growth and reduced its biomass. Silicon additions significantly promoted the seed germination and seedling growth of *G. uralensis*, which was dependent on its concentration and the level of drought stress. Specifically, the promotive effects of 1 mM silicon was stronger than those of 3 mM silicon under all drought stress levels. Under the condition of 1 mM silicon, the promotive effect on severe drought stress ( $\geq 20\%$  PEG) was stronger than that on mild and moderate drought stress (5%-15% PEG). It was concluded that silicon was directly involved in the physiological process of seed germination and seedling growth of *G. uralensis* under drought stress with the relief of drought damage and the promotion of its growth. However, the exactly physiological and biochemical processes involved in silicon still needed confirming in the further researches.

**Keywords:** *Glycyrrhiza uralensis* Fisch., drought stress, silicon, seed germination, regulation scope

(责任编辑 :马雅静 ,责任译审 :朱黎婷)