

范小玉,赵跃锋,张清华. 硅肥对干旱胁迫下茄子幼苗生长及生理特性的影响[J]. 江苏农业科学,2022,50(9):122-127.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.09.020

# 硅肥对干旱胁迫下茄子幼苗生长及生理特性的影响

范小玉, 赵跃锋, 张清华

(商丘市农林科学院,河南商丘 476000)

**摘要:**为明确硅肥对干旱胁迫下茄子幼苗生长的调控效果,以商茄 2 号为材料,利用盆栽法,研究 4 个不同浓度(0.1、0.5、1.0、1.5 mmol/L)硅肥对 3 种不同干旱胁迫(轻度干旱、中度干旱、重度干旱)下茄子幼苗生长及生理特性的影响。结果表明,施用硅肥可提高干旱胁迫下茄子幼苗株高、茎粗和生物量,同时提高幼苗叶片叶绿素含量(SPAD 值)、超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)活性,降低膜脂过氧化产物丙二醛(MDA)的积累。其中 0.5 mmol/L 硅肥处理既可以显著促进幼苗生长,又有利于幼苗叶片生理活性的提高,缓解幼苗干旱胁迫效果最佳;而在重度干旱胁迫下,1.5 mmol/L 的硅肥处理各项指标值却均低于对照(CK),表明过量的硅肥处理会加重干旱胁迫对茄子幼苗造成的伤害。研究结果表明,适宜浓度的外源硅肥能够有效缓解干旱胁迫对茄子幼苗造成的伤害,增强茄子幼苗的抗旱能力。

**关键词:**茄子;幼苗生长;硅肥;干旱胁迫;生理特性

**中图分类号:**S641.106 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2022)09-0122-06

近年来,随着全球气候变暖和水资源的日益匮乏,全球干旱区域不断扩大,干旱程度日趋严重,造成的经济损失也越来越严重<sup>[1]</sup>。茄子(*Solanum melongena* L.)是一种重要的蔬菜作物,在我国各地均有种植,2019 年种植面积为 78.30 万 hm<sup>2</sup>,占世界总种植面积的 42.37%<sup>[2]</sup>。茄子主要食用幼嫩浆果,在生长周期中对水分要求较高,生长发育过程中易受干旱胁迫,严重影响了茄子的产量和品质。

收稿日期:2021-09-08

基金项目:商丘市农林科学院科技攻关项目(编号:20190211)。

作者简介:范小玉(1984—),女,河南商丘人,硕士,助理研究员,主要从事茄子育种及栽培技术研究。E-mail:fx084627@126.com。

通信作者:赵跃锋,副研究员,主要从事茄子育种及栽培技术研究。  
E-mail:zyf9698@163.com。

因此,研究茄子幼苗抗旱性机制,对培育健壮茄子幼苗,获取茄子优质高产具有十分重要的意义。

硅肥是一种很好的保健肥料、品质肥料和植物调节性肥料,是其他化学肥料无法比拟的一种多功能肥料。硅肥能够促进水稻营养物质的吸收与转化、提高稻谷结实率和千粒质量,提升水稻产量<sup>[3]</sup>;硅肥可以显著提高玉米生育前期中部叶片叶绿素含量,能够显著提高后期叶面积指数,改善穗位叶叶向值,提高玉米产量<sup>[4]</sup>;硅肥可以显著提高花生叶片的叶绿素含量和光合作用,增加茎叶及荚果干物质积累量,从而提高花生的百果质量、百仁质量、出仁率及产量<sup>[5]</sup>。前人研究发现,硅肥在提高作物抗冻性<sup>[6]</sup>、抗倒伏<sup>[7-8]</sup>、抗病虫<sup>[9-11]</sup>等抗逆性方面有很好的效果,有关硅肥提高作物抗旱性<sup>[12]</sup>方面的研

[32] Zheng J, Ma X H, Zhang X L, et al. Salicylic acid promotes plant growth and salt-related gene expression in *Dianthus superbus* L. (Caryophyllaceae) grown under different salt stress conditions[J]. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 2018, 24(2): 231-238.

[33] 韩春梅,李春龙,贺阳冬,等. NaCl 胁迫对茼蒿种子萌发及幼苗根系生理生化指标的影响[J]. *长江蔬菜*, 2009(10): 21-23.

[34] Shi L X, Guo J X. Changes in photosynthetic and growth characteristics of *Leymus chinensis* community along the retrogression on the Songnen grassland in Northeastern China[J]. *Photosynthetica*, 2006, 44(4): 542-547.

[35] 颜志明. 外源脯氨酸提高甜瓜幼苗耐盐性的生理调节功能[D]. 南京:南京农业大学,2011.

[36] Waller F, Achatz B, Baltruschat H, et al. The endophytic fungus *Piriformospora indica* reprograms barley to salt-stress tolerance, disease resistance, and higher yield[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2005, 102(38): 13386-13391.

[37] Sun C, Johnson J M, Cai D G, et al. *Piriformospora indica* confers drought tolerance in Chinese cabbage leaves by stimulating antioxidant enzymes, the expression of drought-related genes and the plastid-localized CAS protein[J]. *Journal of Plant Physiology*, 2010, 167(12): 1009-1017.

[38] 王正凤,李春杰,金文进,等. 内生真菌对野大麦耐盐性的影响[J]. *草地学报*, 2009, 17(1): 88-92.

究也有大量报道,可见于水稻<sup>[13]</sup>、玉米<sup>[14-15]</sup>、荞麦<sup>[16]</sup>、草坪草<sup>[17]</sup>、草莓<sup>[18]</sup>、花生<sup>[19]</sup>等作物上,但对硅肥提高茄子幼苗抗旱性应用效果研究却鲜有报道。因此,本试验以商茄 2 号为材料,研究硅肥对于旱胁迫下茄子幼苗生长、生理指标的影响,初步筛选出适宜的硅肥用量,从而为硅肥调控茄子幼苗抗旱性的深入研究奠定基础,同时为茄子高产优质栽培及科学施肥提供技术支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

供试品种为商丘市农林科学院自育品系商茄 2 号。硅酸钾( $K_2SiO_3$ )试剂为化学纯。

### 1.2 试验设计

试验于 2021 年 3 月 10 日在商丘市农林科学院双八试验基地日光温室内进行。采取盆栽试验法,盆钵大小为 25 cm × 25 cm,每盆装土 10 kg,土壤为基地所取沙壤土,土壤速效氮含量 59.05 mg/kg,速效磷含量 39.43 mg/kg,速效钾含量 59.34 mg/kg,土壤 pH 值 7.98,有效硅含量 155 mg/kg,有机质含量 15.9 g/kg。所用土壤经自然风干后,过筛、去杂然后装盆。

试验设 4 个硅肥( $K_2SiO_3$ )浓度:分别为 0.1、0.5、1.0、1.5 mmol/L,蒸馏水处理作为对照(CK),将硅肥一次性分别施入盆中,同时喷施同浓度 KCl 溶液来平衡钾离子的影响;设 3 个干旱水平:轻度干旱(土壤相对含水量 70% ± 5%)、中度干旱(土壤相对含水量 50% ± 5%)、重度干旱(土壤相对含水量 30% ± 5%),共 15 个处理。种子经浸种、催芽后播种于盆内,每盆播种 50 粒,播种后置于温室内培养,覆盖薄膜,10 d 后去掉薄膜,每盆保留长势一致的幼苗 20 株。待幼苗长至 3 叶 1 心时,按照试验设计进行干旱胁迫处理(7 d),处理苗盆按裂区设计排列,每处理 15 盆,重复 3 次,共 45 盆。采用称量法补充每天散失的水分。

### 1.3 测定项目与方法

1.3.1 叶绿素含量及生物量的测定 于干旱胁迫后 8 d,利用手持便携式 SPAD-502 叶绿素测定仪进行叶绿素含量(SPAD 值)的测定;从根茎分界处到生长点的高度测定为株高;以子叶下部节间 1 cm 为基准测定为茎粗;每处理选取长势均匀一致的植株 5 株,冲洗干净,吸干表面多余水分,立即置入恒温干燥箱内,先杀青(105 °C、30 min),后烘干

(80 °C)至恒质量,称其干质量(g),即为幼苗生物量。试验均重复 3 次,取其平均值。

1.3.2 生理指标的测定项目和方法 在干旱胁迫后 8 d 时,分别取茄子幼苗第 2 张真叶进行生理指标的测定。MDA 含量测定采用硫代巴比妥酸法;POD 活性采用愈伤木酚法测定;采用氮蓝四唑光还原法测定 SOD 活性,CAT 活性测定采用紫外吸收法,具体测定参照李合生的方法<sup>[20]</sup>。每次测定均重复 3 次。

### 1.4 数据分析

采用 Microsoft Excel 2007 软件对数据进行处理及图表制作,采用 DPS 软件对数据进行方差显著性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同浓度硅肥处理对干旱胁迫下茄子幼苗生长的影响

从表 1 可以看出,同一水分胁迫条件下,不同施硅量对茄子幼苗植株有不同程度的缓解作用,其株高、茎粗、幼苗生物量均随着施硅量的增加呈先上升后下降趋势,不同水分胁迫条件下,随着干旱胁迫程度加剧,茄子幼苗株高、茎粗、生物量均呈下降趋势,其中 0.5 mmol/L 硅肥处理施用效果最佳。轻度干旱胁迫下,CK 与 0.1、1.5 mmol/L 硅肥处理对茄子幼苗生长的影响差异不显著,与 0.5 mmol/L 硅肥处理间存在显著差异;中度干旱胁迫条件下,施硅处理与 CK 相比,茄子幼苗株高、茎粗、生物量增加显著,分别提高了 12.86% ~ 32.87%、27.57% ~ 88.18%、31.97% ~ 169.01%;重度干旱胁迫条件下,0.5 mmol/L 硅肥处理茄子幼苗株高、茎粗、幼苗生物量均显著高于其他各处理,比 CK 分别高 23.98%、136.40%、155.29%,对于缓解干旱胁迫下幼苗生长效果最好,而 1.5 mmol/L 硅肥处理下,各测定值则低于 CK,表明适量硅肥可以很好地缓解干旱胁迫对幼苗造成伤害,而在重度干旱胁迫下,过量的硅肥则会加剧干旱胁迫对幼苗的损伤。

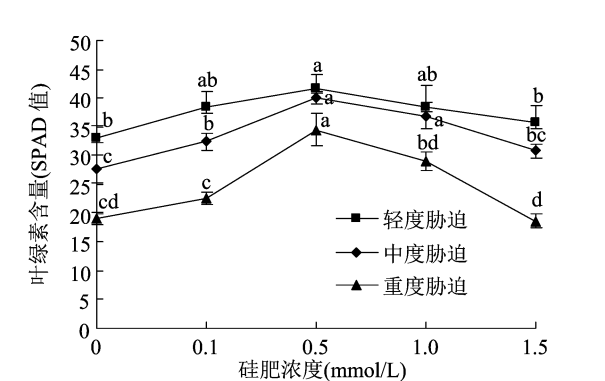
### 2.2 不同浓度硅肥处理对干旱胁迫下茄子幼苗叶绿素含量的影响

叶绿素含量(SPAD 值)与光合作用密切相关,是衡量逆境胁迫对植物造成伤害的重要指标。从图 1 可以看出,随着干旱胁迫加剧,茄子幼苗叶片 SPAD 值也随之降低,在同一干旱胁迫下,SPAD 值随着施硅量的增加呈先升高后降低的趋势,其变化

表 1 不同浓度硅肥处理对干旱胁迫下茄子幼苗生长的影响

处理		株高 (cm)	茎粗 (mm)	生物量 (g/株)
干旱水平	施硅量(mmol/L)			
轻度胁迫	0(CK)	8.213 ± 0.974b	2.810 ± 0.380c	1.373 ± 0.169b
	0.1	9.577 ± 0.455ab	3.373 ± 0.124bc	1.780 ± 0.347ab
	0.5	10.767 ± 0.547a	4.727 ± 0.540a	2.470 ± 0.423a
	1.0	10.543 ± 0.589a	4.133 ± 0.160ab	2.003 ± 0.121ab
	1.5	9.303 ± 0.301ab	3.313 ± 0.294bc	1.567 ± 0.285b
中度胁迫	0(CK)	7.210 ± 0.200c	2.140 ± 0.215d	0.710 ± 0.130c
	0.1	8.327 ± 0.205b	2.857 ± 0.083bc	1.327 ± 0.459abc
	0.5	9.580 ± 0.452a	4.027 ± 0.195a	1.910 ± 0.142a
	1.0	8.763 ± 0.422ab	3.343 ± 0.263b	1.453 ± 0.107ab
	1.5	8.137 ± 0.168b	2.730 ± 0.091c	0.937 ± 0.097bc
重度胁迫	0(CK)	5.907 ± 0.452c	1.437 ± 0.224d	0.577 ± 0.055cd
	0.1	6.550 ± 0.304bc	2.513 ± 0.274c	0.847 ± 0.166bc
	0.5	7.770 ± 0.364a	3.397 ± 0.140a	1.473 ± 0.328a
	1.0	6.907 ± 0.245b	2.990 ± 0.205b	0.993 ± 0.015b
	1.5	5.727 ± 0.707c	1.313 ± 0.156d	0.463 ± 0.162d

注:同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著( $P < 0.05$ )。



不同小写字母表示处理间差异显著( $P < 0.05$ )。图 2 至图 5 同  
图1 不同浓度硅肥处理对干旱胁迫下茄子幼苗叶绿素含量的影响  
规律与硅肥对幼苗植株的影响相呼应,其中,0.5 mmol/L 硅肥处理幼苗叶片 SPAD 值均达到最高,促进叶绿素合成效果最好。轻度干旱胁迫下,各硅肥处理幼苗叶片 SPAD 值均有所提高,提高幅度为 7.67% ~ 26.17%,除 0.5 mmol/L 硅肥处理外,其他处理间叶片 SPAD 值无显著差异;中度干旱胁迫下,除 1.5 mmol/L 硅肥处理与 CK 无显著差异外,其他硅肥处理叶片 SPAD 值均显著高于 CK;重度干旱胁迫下,0.5 mmol/L 硅肥处理茄子幼苗叶片 SPAD 值均高于其他处理,增幅最高,达 80.50%,能够较好减缓干旱胁迫下幼苗叶片受到的伤害,效果尤为显著,但在 1.5 mmol/L 硅肥处理下,幼苗叶片 SPAD 值与 CK 相比下降了 2.85%,表明在重度干旱胁迫下,并非硅肥浓度越高缓解干旱效果越好。

2.3 不同浓度硅肥处理对干旱胁迫下茄子幼苗 MDA 含量的影响

从图 2 可以看出,不同干旱胁迫下不同浓度硅肥对 MDA 含量积累影响不同,同一干旱胁迫条件下,随着施硅量的增加,茄子幼苗叶片 MDA 含量呈先降低后上升趋势,其中以 0.5 mmol/L 硅肥处理 MDA 含量最低。在轻度干旱胁迫条件下,各处理幼苗叶片 MDA 值与 CK 相比均有所下降,降幅在 7.89% ~ 22.73%,其中 0.1、1.5 mmol/L 硅肥处理与 CK 相比无显著差异,缓解幼苗干旱胁迫效果不明显;中度干旱胁迫条件下,不同硅肥处理对茄子幼苗叶片 MDA 积累量存在显著差异,0.5、1.0 mmol/L 硅肥处理均可以较好地降低幼苗 MDA 含量,降幅分别为 35.17%、27.04%,而 1.5 mmol/L 硅肥处理 MDA 积累量与 CK 则无显著差异,对缓解幼苗干旱胁迫效果不明显;重度干旱胁迫下,与 CK 相比,除 1.5 mmol/L 硅肥处理幼苗叶片 MDA 值高于 CK 外,其他处理与 CK 相比均呈显著差异,均能够显著降低幼苗叶片 MDA 含量,从而有效缓解重度干旱对幼苗带来的伤害,其中 0.5 mmol/L 硅肥处理缓解干旱胁迫效果最佳。

2.4 不同浓度硅肥对干旱胁迫下茄子幼苗抗氧化酶活性的影响

抗氧化酶系统被认为是植物遭受环境胁迫时重要的防御系统。干旱胁迫时,植物体内会产生大

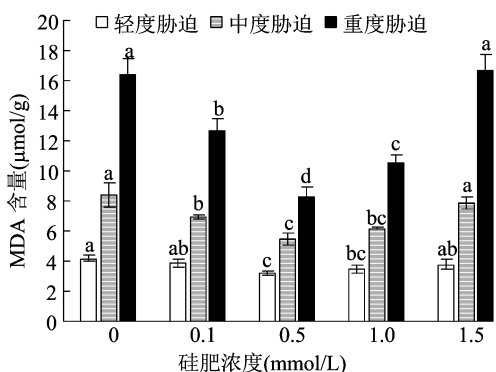


图2 不同浓度硅肥处理对茄子幼苗MDA含量的影响

量的活性氧(ROS),而过量的ROS积累则会对植物体造成严重的损伤,SOD、POD、CAT这3种抗氧化酶是植物应对逆境胁迫时重要的保护酶,它能够有效清除植物体内积累的过多ROS,从而减轻逆境对植物体造成的伤害。

**2.4.1 不同浓度硅肥处理对干旱胁迫下茄子幼苗SOD活性的影响** 由图3可以看出,随着干旱胁迫程度加剧,幼苗叶片SOD活性呈下降趋势,且随着不同硅肥浓度增加,茄子幼苗叶片SOD活性呈抛物线式降低,其中0.5 mmol/L硅肥处理在不同程度干旱胁迫条件下,均可显著提高幼苗叶片SOD活性,与对照相比,分别增加了6.27%、26.35%、60.24%,尤其在重度干旱胁迫下,增幅最高,缓解幼苗干旱胁迫效果也最明显。说明适宜的硅肥用量能够提高茄子幼苗叶片SOD活性,有效清除体内积累过多的活性氧,从而缓解干旱胁迫对茄子幼苗造成的伤害。

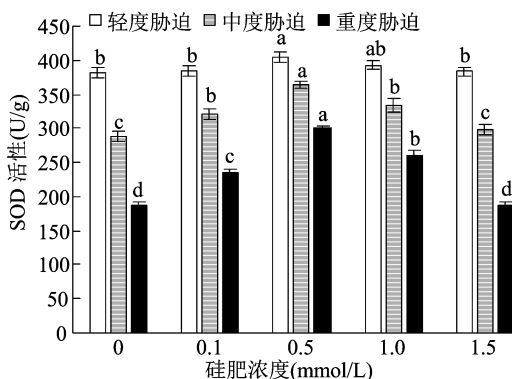


图3 不同浓度硅肥处理对干旱胁迫下茄子幼苗SOD活性的影响

**2.4.2 不同浓度硅肥对干旱胁迫下茄子幼苗POD活性的影响** 从图4可以看出,轻、中度干旱胁迫下,不同硅肥处理茄子幼苗POD活性均有不同程度的提高,与CK相比提高幅度分别为4.99%~17.73%、17.55%~32.65%;重度干旱胁迫下,除1.5 mmol/L硅肥处理POD活性与CK相比下降

2.22%外,其他处理POD值均显著高于对照,增幅为25.28%~56.29%。在不同干旱胁迫处理下,0.5 mmol/L硅肥处理均能够显著提高幼苗叶片POD活性,说明适宜浓度的硅肥能够显著提高茄子幼苗POD活性,施用较高浓度的硅肥反而会降低POD活性,以此造成茄子幼苗的二次伤害。

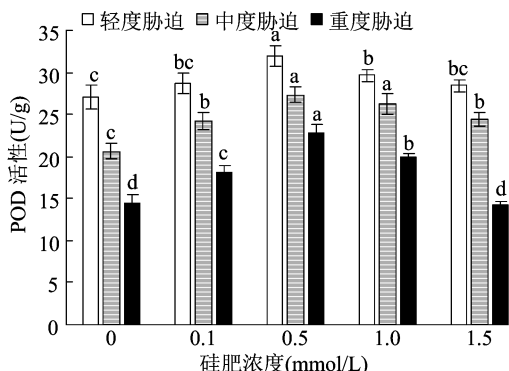


图4 不同浓度硅肥处理对干旱胁迫下茄子幼苗POD活性的影响

**2.4.3 不同浓度硅肥处理对干旱胁迫下茄子幼苗CAT活性的影响** 从图5可以看出,随着干旱胁迫程度的加剧,不同处理茄子幼苗叶片CAT活性降低,其中茄子幼苗经0.5 mmol/L硅肥处理后表现出较高的CAT活性。经显著性分析,轻度干旱胁迫下,0.5、1.0 mmol/L硅肥处理茄子幼苗叶片CAT活性显著高于其他处理,缓解幼苗干旱胁迫效果显著,而其他处理间无显著差异,缓解幼苗干旱胁迫效果不明显;中度干旱胁迫下,CK和1.5 mmol/L硅肥处理间差异不显著,0.5 mmol/L硅肥处理则与其他处理呈差异显著,幼苗叶片CAT活性最高,与CK相比增幅为52.94%,缓解幼苗干旱胁迫效果最佳;重度干旱胁迫下,各处理间存在显著差异,对缓解幼苗干旱胁迫效果存在明显差异,其中0.5 mmol/L硅肥处理幼苗叶片CAT活性最高,与CK相比,增幅达98.87%,1.5 mmol/L硅肥处理幼苗叶片CAT活性则低于对照,降幅为20.89%,不仅不能提高幼苗抗旱能力,反而会对幼苗造成一定的损伤,所以,生产中应施用适宜浓度的硅肥来提高幼苗的抗旱性。

### 3 结论与讨论

植株在遭受干旱胁迫下,体内细胞会发生一系列适应性改变,最终体现在植株外在的生长状况和形态特征上,株高、茎粗、生物量等指标则是衡量植株对逆境下适应能力及缓解逆境胁迫能力的重要指标。通过本试验可以看出,茄子幼苗在不同的干旱胁迫条件下,通过硅肥的施用,其幼苗的株高、茎

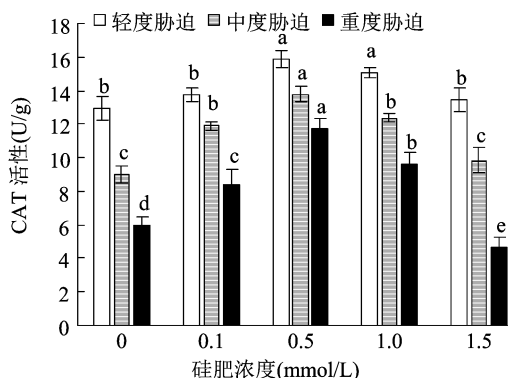


图5 不同浓度硅肥处理对干旱胁迫下幼苗叶片 CAT 活性的影响

粗和生物量均较 CK 有显著的提高,这与 Gong 等的研究结果<sup>[21,10]</sup>相似。这是因为硅肥可改善干旱胁迫下茄子幼苗植株的生理状况,促进根系对水分和养分的吸收,进而促进株高、茎粗和生物量的提高,从而获取健壮的茄子幼苗,提高茄子幼苗的抗旱能力,缓解干旱胁迫下幼苗遭受的伤害。其中,与 CK 相比,0.5 mmol/L 的硅肥处理能够最大程度地缓解干旱胁迫下幼苗受到的伤害,效果最佳,而 1.5 mmol/L 硅肥处理下,各测定值则低于 CK,说明生产中施用过量的硅肥则会加重干旱胁迫对幼苗造成的损伤。

叶绿素是植物进行光合作用的物质基础,对植株的生长发育和形态建成至关重要<sup>[22]</sup>。本试验结果表明,在干旱胁迫下,随着干旱胁迫程度的加剧,茄子幼苗叶片叶绿素含量也随之降低,这与吴顺等的研究结果<sup>[23-25]</sup>一致。因为茄子在遭受缺水的情况下,干旱胁迫叶片基粒结构发生变化,直接影响了叶绿素的形成<sup>[26]</sup>。经过加硅处理后,除重度干旱胁迫下 1.5 mmol/L 的硅肥处理会造成叶绿素合成受到抑制、叶绿素含量减低外,其他加硅处理均能够不同程度地提高茄子幼苗叶绿素含量,其中 0.5 mmol/L 硅肥处理后,叶片 SPAD 值最高,促进叶绿素合成效果最好,可以显著提高幼苗叶片的光合特性,使植株积累较多的干物质,以获取较好的幼苗形态建成,提高幼苗抗旱性。表明适宜的施硅量有利于提高干旱胁迫下幼苗叶绿素含量,增加光合物质积累,以此缓解干旱对幼苗造成的伤害,而过量的硅肥处理则会起到相反作用。

植物体在逆境下遭受伤害与 ROS 积累诱发的膜脂过氧化作用密切相关,MDA 是膜脂过氧化最重要的产物之一,因此,MDA 含量高低可以间接反映出植物抗逆境能力的强弱。从本试验结果可以看出,茄子幼苗叶片 MDA 含量随着水分胁迫加剧而

升高,施硅后,在同一干旱胁迫下,则随着硅肥处理浓度的增加呈先降后升趋势,这与陈花等的研究结果<sup>[24,27]</sup>一致。其中 0.5 mmol/L 硅肥处理在不同水分胁迫条件下,均能够显著降低 MDA 含量,很好地缓解茄子幼苗在干旱胁迫下受到的伤害,效果最佳。而在重度干旱胁迫下,1.5 mmol/L 的硅肥处理后,其茄子幼苗 MDA 含量却高于未施硅的对照,这可能是由于严重缺水的情况下,施入过高浓度的硅肥,造成了植物体细胞受到的胁迫加剧,从而导致 MDA 含量的升高,这与胡瑞芝等的研究结果<sup>[28-29,23]</sup>一致。

植物抗氧化酶系统能够有效清除细胞内的 ROS,是植物抗旱保护机制的一个重要组成部分<sup>[30]</sup>。Ma 等研究表明,硅肥可以提高干旱胁迫下小麦 SOD、CAT、APX 等抗氧化酶的转录水平,表明硅在抗氧化防御体系应对干旱胁迫时具有提高抗氧化酶活性的作用<sup>[31]</sup>。从本试验可以看出,随着干旱胁迫加剧,茄子幼苗叶片 SOD、POD、CAT 这 3 种保护酶活性均呈下降趋势,说明随着灌水量的减少,茄子幼苗受到的伤害程度加剧;当进行硅肥处理后,与不施硅相比,除重度干旱胁迫下 1.5 mmol/L 的硅肥处理外,其他硅肥处理均可不同程度地提高这 3 种保护酶活性,且 0.5 mmol/L 硅肥处理下,SOD、POD、CAT 这 3 种酶的活性在不同的水分胁迫下活性值均最高,说明适宜浓度的硅肥处理能够提高茄子幼苗抗氧化酶活性,加快植物体内 ROS 的清除,从而缓解干旱胁迫对植物体造成的伤害,这与李清芳等的研究结果<sup>[14,23,32]</sup>一致。其中重度干旱胁迫下,1.5 mmol/L 的硅肥处理之所以降低了茄子幼苗的保护酶活性,这可能是由于高浓度的硅也是一种逆境胁迫,造成植物体 ROS 积累过多,加剧了植物体的二次伤害,从而加重了逆境胁迫对植物体造成的伤害。

综上所述,在不同的干旱胁迫下,0.5 mmol/L 的硅肥处理可以有效缓解干旱胁迫对茄子幼苗造成的损伤,提高幼苗抗旱性,但 1.5 mmol/L 的硅肥处理却在重度干旱胁迫下对植物体造成了二次伤害,加重了茄子幼苗干旱胁迫造成的伤害。所以,在实际生产中一定要根据当地土壤的有效硅含量,因地制宜与科学施肥相结合,方能达到优质高产的栽培目的。关于硅肥缓解茄子干旱胁迫的生理机制与分子机制还有待于进一步研究阐明。

## 参考文献:

- [1] 景蕊莲. 作物抗旱研究的现状与思考[J]. 干旱地区农业研究, 1999, 17(2): 79–85.
- [2] 刘富中, 舒金帅, 张映, 等. “十三五”我国茄子遗传育种研究进展[J]. 中国蔬菜, 2021(3): 17–27.
- [3] 王茂辉, 聂金泉, 任勇, 等. 不同硅肥用量对水稻生长的影响研究[J]. 广东农业科学, 2020, 47(2): 61–67.
- [4] 王大为, 史磊, 孙成韬, 等. 硅肥对玉米生理指标和产量的影响[J]. 辽宁农业科学, 2017(4): 12–14.
- [5] 李尚霞, 杨吉顺, 张智猛, 等. 硅肥对花生生理特性和产量的影响[J]. 花生学报, 2012, 41(3): 37–40.
- [6] Rozeff N S. The bench warmer or unheralded star[J]. Sugar Journal, 1992, 1: 1–20.
- [7] Savant N K, komdorfer G H, Datnoff L E, et al. Silicon nutrition and sugarcane production: a review[J]. Journal of Plant Nutrition, 1999, 22: 1853–1903.
- [8] 石彦召. 增施硅肥对玉米的抗倒性和产量的影响研究[J]. 农业科技通讯, 2013(3): 48–50.
- [9] 吴森, 刘信宝, 丁立人, 等. PEG 模拟干旱胁迫下硅对紫花苜蓿萌发及生理特性的影响[J]. 草地学报, 2017, 25(6): 1259–1264.
- [10] Ma C C, Li Q F, Gao Y B, et al. Effects of silicon on drought resistance of cucumber plants[J]. Soil Science and Plant Nutrition, 2004, 50(5): 623–632.
- [11] Richard R B, Patricia A B, David L E. Soluble silicon: its role in crop and disease management of greenhouse crops[J]. Plant Disease, 1995(4): 329–336.
- [12] 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, 20(5): 1280–1287.
- [13] 陈伟, 蔡昆争, 陈基宁. 硅和干旱胁迫对水稻叶片光合特性和矿质养分吸收的影响[J]. 生态学报, 2012, 32(8): 2620–2628.
- [14] 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.
- [15] 李清芳, 马成仓, 季必金. 硅对干旱胁迫下玉米水分代谢的影响[J]. 生态学报, 2009, 29(8): 4163–4168.
- [16] 陈花, 王建军, 任建宏, 等. 硅肥处理对荞麦幼苗抗旱性的影响[J]. 中国农学通报, 2015, 31(12): 40–44.
- [17] 杜建雄, 刘金荣. 硅对干旱胁迫下草坪草叶片保护酶系统及丙二醛含量的影响[J]. 草原与草坪, 2010, 30(1): 45–49.
- [18] 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[J]. 核农学报, 2013, 27(5): 703–707.
- [19] 曾瑞儿, 王鑫悦, 侯雪莹, 等. 硅对干旱胁迫下花生幼苗生长和生理特性的影响[J]. 花生学报, 2018, 47(4): 13–18.
- [20] 李合生. 植物生理学实验技术指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001: 160–261.
- [21] Gong H J, Zhu X Y, Chen K M, et al. Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in pots under drought[J]. Plant Science, 2005, 169(2): 313–321.
- [22] 姚棋, 赵鑫, 陈浩婷, 等. 缺铁胁迫下外源亚精胺对番茄幼苗生长及生理特性的影响[J]. 山东农业科学, 2020, 52(12): 39–43.
- [23] 吴顺, 张雪芹, 蔡燕. 干旱胁迫对黄瓜幼苗叶绿素含量和光合特性的影响[J]. 中国农学通报, 2014, 30(4): 133–137.
- [24] 陈花, 王建军, 王富刚, 等. 外源硅对干旱胁迫下荞麦幼苗水分代谢的影响[J]. 山西农业科学, 2015, 43(11): 1393–1397.
- [25] 孙爱清, 万勇善, 刘凤珍, 等. 干旱胁迫对不同花生品种光合特性和产量的影响[J]. 山东农业科学, 2010(10): 32–38.
- [26] 陈立松, 刘星辉. 水分胁迫对荔枝叶片超微结构的影响[J]. 福建农业大学学报, 2001, 30(2): 171–174.
- [27] 宫海军, 陈坤明, 陈国仓, 等. 硅对小麦生长及其抗氧化酶系统的影响[J]. 土壤通报, 2003, 34(1): 55–57.
- [28] 胡瑞芝, 方水娇, 陈桂秋. 硅对杂交水稻生理指标及产量的影响[J]. 湖南农业大学学报, 2001, 27(5): 335–338.
- [29] 黄延楠, 刘军, 张振贤. 苗期叶面施硅对生姜叶片膜脂过氧化及保护酶活性的影响[J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(3): 58–60.
- [30] 林宇丰, 李魏, 戴良英. 抗氧化酶在植物抗旱过程中的功能研究进展[J]. 作物研究, 2015, 29(3): 330.
- [31] Ma D, Sun D, Wang C, et al. Silicon application alleviates drought stress in wheat through transcriptional multiple antioxidant defense pathways[J]. Journal of Plant Growth Regulation, 2016, 35(1): 1–10.
- [32] 王党峰. 硅处理对干旱胁迫下龙眼苗生理特性的影响[D]. 福州: 福建农业大学, 2010: 25–39.