

盐胁迫下硅对黄瓜保护酶活性和膜质过氧化物的影响

王喜艳^{1,2}, 张玉龙^{1*}, 张恒明³, 冯 燕², 佟 倩¹, 虞 娜¹

(1. 沈阳农业大学 土地与环境学院, 沈阳 110161; 2. 沈阳农业大学 高等职业技术学院, 沈阳 110122;
3. 辽宁省环境科学研究院, 沈阳 110031)

摘 要: 采用盆栽试验方法, 研究施用硅肥(Na_2SiO_3)对盐渍化土壤上黄瓜叶片超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)3种保护酶活性及丙二醛(MDA)含量的影响。结果表明: 施用硅肥(Na_2SiO_3)显著提高了黄瓜叶片 SOD、POD 和 CAT 活性, 显著降低了 MDA 浓度。随着硅肥用量的增加, 黄瓜叶片 SOD、POD 和 CAT 活性呈先上升后降低的趋势, MDA 含量呈先降低后升高的趋势。

关键词: 硅; 黄瓜; 盐胁迫; 保护酶; 丙二醛

中图分类号: S147.5

文献标识码: A

文章编号: 1004-1389(2009)01-0221-04

Influence of Silicon on Activities of Protective Enzymes and MDA Content in Cucumber under Salt Stress Soil

WANG Xiyen^{1,2}, ZHANG Yulong^{1*}, ZHANG Hengming³, FENG Yan²,
TONG Qian¹ and YU Na¹

(1. Land and Environment College, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China;
2. School of Vocational Technology, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110122, China;
3. Liaoning Academy of Environmental Sciences, Shenyang 110031, China)

Abstract: The paper studied the effects of silicon fertilizer (Na_2SiO_3) on the activities of superoxide (SOD), catalase (CAT), peroxidase (POD) and on Malondialdehyde (MDA) content in cucumber leave under salt stress soil with pot experiment. The results showed that with input of silicon fertilizer, the activities of SOD, CAT, POD increased distinctly, while the content of MDA decreased distinctly. With the input of silicon fertilizer increasing, the activities of SOD, CAT, POD increased first and then decreased, while the content of MDA decreased first and then increased.

Key words: Silicon; Cucumber; Salt stress; SOD; CAT; POD; MDA

土壤盐渍化严重影响作物的生长发育与生存, 是农业生产的主要限制因素之一。植物在逆境条件下, 细胞内活性氧产生与清除之间的平衡遭到破坏, 膜脂过氧化作用增强, 从而导致了细胞质膜透性增大、离子平衡失调及代谢紊乱^[1]; 其中非常重要是对细胞膜的伤害, 即细胞体内活性氧和自由基含量升高^[2]。而超氧化物歧化酶

(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)等是植物体内清除活性氧等重要的保护酶^[3], 它们能够抑制丙二醛(MDA)的积累^[4-5], 维持细胞的稳定和完整, 提高植物对逆境的适应性。因此, 植物体内保护酶活性的高低及 MDA 的含量在一定程度上反映植物的耐逆境能力^[3]。硅是植物体内重要的组成成分, 也是植物生长有益的营养元

收稿日期: 2008-06-20 修回日期: 2008-07-26

基金项目: 辽宁省自然科学基金项目“辽宁省保护地土壤硅素肥力的研究”(20042107); 辽宁省重大农业攻关项目(2006215005)。

作者简介: 王喜艳(1977—), 女, 蒙古族, 辽宁阜蒙县人, 讲师, 在读博士研究生, 主要从事土壤改良、土壤肥力等方面的教学和科研工作。E-mail: xy_wang@163.com

* 通讯作者: 张玉龙(1954—), 男, 辽宁建平人, 教授, 博士研究生导师。

素^[6]。已有研究证实,在缺硅的土壤上施用硅肥可改善细胞膜结构和功能的稳定性,提高生理生化活性,提高作物抗病虫害及促进作物抗铁、锰、铝等重金属毒害,提高农作物质量和产量^[7-9]。

目前,盐胁迫对植物保护酶系统活性及膜脂过氧化影响的研究较多,而对硅素在植物保护酶活性和降低膜质过氧化物方面的研究尚不多见,且多是在水培或单一盐分胁迫条件下,在大麦、玉米和水稻等植物上取得的结果。而在盐渍化土壤条件下硅素对黄瓜保护酶活性和膜质过氧化物影响的研究还未见报道。为此,本文以保护地重度盐渍化的土壤为基质,采用盆栽试验研究了盐分

胁迫下硅肥对黄瓜抗氧化酶活性和 MDA 含量的影响,探讨硅素提高黄瓜抗盐能力的机制,为合理施肥提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试土壤

试验在沈阳农业大学试验基地温室内进行。供试土壤于 2007 年采自辽宁省沈阳市康平县保护地内,土壤理化性质见表 1。由表 1 可知,试验用土含盐量较高,按国家盐碱土分级标准为盐土,水溶性盐分离子以 HCO_3^- 和 Na^+ 为主。

表 1 供试土样的理化性质

Table 1 Some physical and chemical properties of soils in field experiment

pH	有机质 O. M /(g/kg)	速效 N Available N /(mg/kg)	速效 P Available P /(mg/kg)	速效 K Available K /(mg/kg)	全盐 Total salt content /(g/kg)	交换态 Na Exchangeable Na /(cmol/kg)	有效硅 Available Si /(mg/kg)
8.50	3.58	80.17	4.11	91.40	22.31	5.24	462.28
水溶性离子/(cmol/kg) Water-soluble ions							
CO_3^{2-}	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}
0.31	3.55	0.79	1.82	5.33	0.31	0.89	0.33

1.2 试验设计与方法

供试黄瓜品种为津春 5 号。盆栽所用塑料盆钵直径 20 cm,高 20 cm,为防止盆底积水,在盆底装 1.0 kg 砾石,每盆装土 4 kg。所用硅肥为分析纯硅酸钠($\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$),在黄瓜定植时与基肥氮肥、磷肥一并施入,开始硅处理,每盆土壤施用尿素 0.95 g、磷酸氢二铵 0.74 g、硫酸钾 1.11 g。试验采用单因素设计,设 6 个处理:①对照(CK),未施硅;②施硅 50 mgSiO_2/kg 土;③施硅 100 mgSiO_2/kg 土;④施硅 200 mgSiO_2/kg 土;⑤施硅 300 mgSiO_2/kg 土;⑥施硅 400 mgSiO_2/kg 土。每个处理重复 6 次(即 6 盆),每盆定植黄瓜 2 株。2007 年 8 月 16 日播种,日光温室内育苗,当幼苗长至 4 叶 1 心时于 9 月 6 日定植,每盆栽植 2 株,10 月 21 日收获。装盆后盆内土壤的田间持水量为 36.7%(容积%)。

1.3 测定项目及方法

黄瓜定植 30 d 后各处理每盆随机选取 1 株黄瓜(每个处理 6 株),取从上往下数的第 4 片功能叶,每个处理 6 片叶混合后分成 3 组作为重复,测定超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)活性及丙二醛(MDA)含量。

SOD 活性用 NBT 光化学还原法测定^[10];

POD 活性用愈创木酚法测定^[10];CAT 活性用紫外吸收法测定;MDA 含量用巴比妥酸法测定^[11]。

2 结果与分析

2.1 对叶片 SOD 含量的影响

SOD 是清除超氧自由基最重要的一种酶,当植物体处于胁迫条件下时,这种酶活性通常显著降低,因此其活性被作为抗逆性的重要指标之一^[12]。各处理 SOD 活性见图 1。在盐分胁迫条件下,加入硅后,SOD 活性显著提高,与对照相比,SOD 活性提高了 11.1%~46.8%,说明施硅能显著提高叶片中 SOD 含量,降低盐分胁迫对叶片的危害,提高黄瓜抗逆性。硅用量在 0~200 $\text{mg SiO}_2/\text{kg}$ 土的处理,SOD 活性随着硅肥用量的增加呈显著上升趋势,而硅用量高于 200 $\text{mg SiO}_2/\text{kg}$ 土的处理,随着硅肥用量的增加 SOD 活性有降低趋势,但仍高于对照处理。说明在盐分胁迫条件下, Na_2SiO_3 用量过高会削弱黄瓜抗逆性,因此其用量需控制在合理范围内,才能较好地发挥肥效。

2.2 对叶片 POD 含量的影响

从图 2 可知,在盐分胁迫条件下,施用硅肥显著提高了黄瓜叶片 POD 活性,与对照相比,POD 含量提高了 9.2%~37.7%,说明施硅能显著提

高黄瓜叶片对盐分胁迫的抗逆性。随着硅用量的增加,POD 含量变化趋势与 SOD 相似,活性逐渐升高,硅用量高于 200 mg SiO₂/kg 土时,POD 活性显著高于对照处理,减轻了盐分胁迫对植株的伤害,提高了抗逆性。硅用量为 400 mg SiO₂/kg 土时,POD 活性比前一处理有所降低,说明 Na₂SiO₃ 用量过高不利于黄瓜抗逆性的提高。

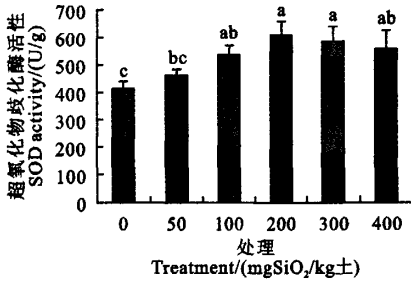


图 1 不同硅处理的黄瓜 SOD 活性

Fig. 1 SOD activity in cucumber of different treatments

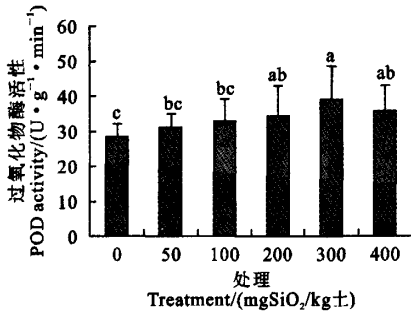


图 2 不同硅处理的黄瓜 POD 活性

Fig. 2 POD activity in cucumber of different treatments

2.3 对叶片 CAT 含量的影响

由图 3 可知,在盐胁迫条件下,施用硅肥显著提高了 CAT 活性,与对照相比,CAT 活性提高了 28.1%~63.2%,提高了黄瓜叶片的耐盐性,降低了盐分胁迫对叶片的伤害。当硅用量在 0~200 mg SiO₂/kg 土范围内时,CAT 活性随着硅肥用量的增加呈显著上升趋势;硅用量大于 200 mg SiO₂/kg 土时,CAT 活性呈现显著降低趋势,但仍高于对照处理。这说明在一定用量范围内,Na₂SiO₃ 用量越大,黄瓜叶片抗逆性越强;用量过高,会抑制 CAT 活性的提高,降低耐盐性。

2.4 对黄瓜叶片 MDA 含量的影响

MDA 是膜脂过氧化作用的主要产物之一,其含量增加,说明膜质发生过氧化,细胞离子渗漏,严重时可导致植物死亡^[4]。本研究结果表明,在盐分胁迫条件下,与对照相比,施硅处理 MDA

含量显著降低,比对照降低了 5.1%~22.3%,且 MDA 含量随硅用量的增加呈现先降低后升高的趋势。说明盐分胁迫下,硅素降低了膜质过氧化作用,减轻了膜质过氧化作用对水稻幼苗叶片细胞的伤害,但硅肥用量超过 300 mg SiO₂/kg 土时,MDA 含量呈升高趋势,说明硅酸钠用量过高会伤害细胞质膜。

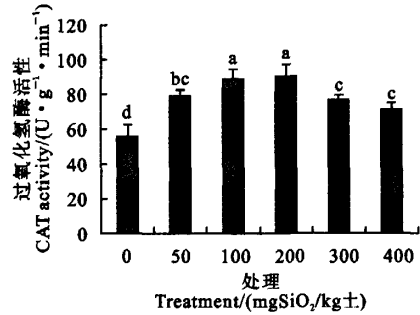


图 3 不同硅处理的黄瓜 CAT 活性

Fig. 3 CAT activity in cucumber of different treatments

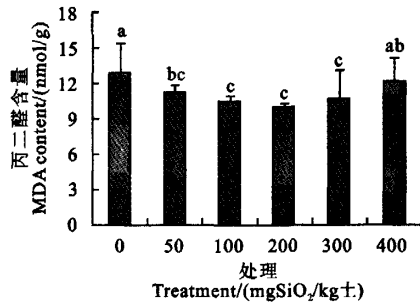


图 4 不同硅处理的黄瓜 MDA 含量

Fig. 4 MDA content in cucumber of different treatments

3 讨论

试验用土壤为盐土,其水溶性盐离子以 HCO₃⁻ 和 Na⁺ 为主,HCO₃⁻ 占水溶性阴离子的 54.8%,Na⁺ 占水溶性阳离子的 77.7%。与相邻场地进行的无盐害土壤类似的硅肥试验相比,该试验所有处理(包括对照处理)的黄瓜株高、茎粗及生物量均显著小于在无盐害土壤上取得的结果,说明本试验用土壤盐分对黄瓜生长发育造成了严重的盐分胁迫。往试验土壤中施入外源 Na⁺ 只会增加盐分胁迫程度,加重对作物的伤害。

细胞膜是盐胁迫对植物伤害的主要部位^[14],盐胁迫对细胞膜造成的伤害主要是通过 Na⁺ 和 Cl⁻ 毒害、渗透或水分胁迫及养分不平衡而实现的^[15]。盐胁迫下,细胞内 Na⁺ 过量积累,造成活性氧 O₂^{·-} 产生和清除系统的动态平衡被破坏,

启动膜脂过氧化或膜脂脱脂作用,造成膜脂和膜蛋白损伤和破坏,膜系统的完整性丧失,进而引起电解质外渗,严重时导致植物死亡。盐胁迫使 Na^+ 增加和 K^+ 外渗, Na^+ / K^+ 增大^[14,16-17]。

SOD、POD、CAT 是酶保护系统中的重要组份^[18],植物可以依赖 POD、SOD 和 CAT 3 种保护系统酶的协同作用,清除体内一定数量的过剩 O_2^- ,从而使膜系统减轻自由基引发的过氧化作用的伤害,使膜结构及其功能相对稳定,细胞的抗逆性得到提高。

Na_2SiO_3 含有两种离子,一种是盐基离子 Na^+ ,一种是含植物有益成分 Si 的 SiO_3^{2-} ,Si 在维持膜结构和降低活性氧伤害方面有重要作用^[12,19-20]。随着 Na_2SiO_3 用量的增加,一方面,植物有益元素 Si 含量不断增加,对降低盐胁迫对细胞膜的伤害起到了有益作用;另一方面,土壤中盐基离子 Na^+ 不断积累,加重了土壤盐分胁迫程度,对细胞膜的伤害可能加重。

本试验中,施入硅肥显著提高了黄瓜叶片酶保护系统的 SOD、POD、CAT 活性,降低膜脂过氧化伤害,细胞的抗逆性得到提高,从以上分析可知,黄瓜叶片酶保护系统活性的提高是 Si 在起作用,而不是 Na。随着硅肥用量的增加,黄瓜叶片中 SOD、POD、CAT 活性先升高后降低,这可能是因为 Na_2SiO_3 用量在一定范围内时,Si 用量的增加对提高 SOD、POD、CAT 活性方面的作用大于 Na^+ 增加对 SOD、POD、CAT 的不利影响,因而 SOD、POD、CAT 活性表现为升高趋势;而当 Na_2SiO_3 超过一定用量后, Na^+ 增加对 SOD、POD、CAT 的不利影响大于 Si 用量增加对提高 SOD、POD、CAT 活性方面的有益作用,从而表现为 SOD、POD、CAT 活性的降低。

MDA 是膜脂氧化的末端产物,MDA 含量高表示膜脂过氧化程度高,其含量高低是判断膜脂过氧化程度和植物对逆境条件反应强弱的重要指标^[13,21-22]。本试验中,施用硅肥显著降低了细胞中 MDA 含量,降低了盐胁迫对细胞膜的伤害。MDA 含量变化趋势与 SOD、POD、CAT 变化趋势相反,随着硅肥用量的增加,MDA 含量先降低后升高,其原理同上。

从以上对 SOD、POD、CAT 及 MDA 活性变化的分析,可以得出一致结论,硅能显著提高盐胁迫条件下黄瓜叶片抗逆性,减轻盐胁迫对细胞膜的伤害。这与在大麦^[12,20,23]、高泌盐植物小漳

毛^[24]和玉米幼苗^[25]上的研究结果一致。

参考文献:

- [1] 刘友良,毛才良,汪良驹.植物耐盐研究进展[J].植物生理学通讯,1987(4):1-7.
- [2] KALIR A, POLJAKOFF-MAYBER A. Changes in activity of malate dehydrogenase, catalase, peroxidase and superoxide dismutase in leaves of *Halimolobos* L. Alley exposed to high sodium chloride concentration [J]. Ann. Bot., 1981, 47: 75-85.
- [3] 汗良驹,千业遵,刘永良.无花果耐盐机理研究盐逆境下脯氨酸和可溶性蛋白质的积累[J].南京农业大学学报,1989, 12(4):124-125.
- [4] 赵可夫,邹琦,李得全,等.盐和水分胁迫对盐生和非盐生植物膜脂过氧化作用的效应[J].植物学报,1993,35(7): 519-525.
- [5] 孙国荣,彭永臻,阎秀峰,等.干旱胁迫对白桦实生苗保护酶活性及膜脂过氧化作用的影响[J].林业科学,2003, 39(1):165-167.
- [6] 侯彦林,郭伟,朱永官.非生物胁迫下硅素营养对植物的作用及其机理[J].土壤通报,2005(6):426-429.
- [7] Epstein E. Silicon[J]. Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol, 1999, 50: 641-664.
- [8] 梁永超,丁瑞兴,刘谦.硅对大麦耐盐性的影响及其机制[J].中国农业科学,1999,32(6):75-83.
- [9] 钱琼秋,宰文珊,朱祝军.外源硅对盐胁迫下黄瓜幼苗叶绿体活性氧清除系统的影响[J].植物生理与分子生物学学报,2006,32(1):107-112.
- [10] 李合生.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2003:164-165.
- [11] 郝建军,刘延吉.植物生理学实验技术[M].沈阳:辽宁科学技术出版社,2001:56-57.
- [12] 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 Physiology, 2003, 160: 1157-1164.
- [13] 陈贵,胡文玉,谢甫锦,等.提取植物体内 MDA 溶剂及 MDA 作为衰老指标的探讨[J].植物生理学通讯,1991, 27(1):44-46.
- [14] 刘友良,汪良驹.植物对盐胁迫的反应和耐盐性[G].//余叔文,汤章诚.植物生理与分子生物学.北京:科学出版社,1998:752-754.
- [15] Marschner H, Part I. Nutritional physiology. In: Mineral Nutrition of Higher Plants[M]. Marschner H. (ed), Academic Press Limited, London. Second edition, 1995: 18-30;406-417;299-300;662-665.
- [16] Lefevre I, Gratia E, Luts S. Discrimination between the ionic and osmotic components of salt stress in relation to free polyamine level in rice (*Oryza sativa*) [J]. Plant Sci., 2001, 161(5):943-952.

(下转第 233 页)

浓度呈量效关系。

4 种提取物对 DPPH· 清除能力随着提取溶剂极性的增强呈现增强趋势,但低于 BHT 和 vC,这与各提取物中含有的黄酮类、酚类、皂甙类、鞣质类、生物碱类、多糖类等抗氧化物质的含量及组成有关^[10]。另外,各种微量元素、叶绿素等物质,也可能对试验的结果造成影响。4 种提取物究竟含有哪些具有清除 DPPH 自由基能力的化学成分,还有待进一步研究。

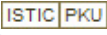
参考文献:

- [1] 张立运,杨 春. 保护风蚀的刺山柑[J]. 植物杂志,2004,1(3):35-37.
- [2] 朱江丽. 荨麻、老鼠瓜治风湿[J]. 中国民族民间医药杂志,1996,20:24-25.
- [3] Mohamed S, Mohamed A. Flavonoids of four cleome and three Capparis Species[J]. Biochemical Systematics and Ecology, 1997, 25(2):161-166.
- [4] Suk E B. The oxidation stability of soybean, palm Fish oil and lard affected by crude ginero[J]. Korean Soc. Food Sci, 1993, 9(4): 298.
- [5] 李爱华. 生姜抗氧化作用的研究[J]. 食品科学, 1995, 16(12): 35.
- [6] 季宇彬,郭守东,汲晨锋. 野西瓜的化学和药理研究[J]. 哈尔滨商业大学学报:自然科学版,2006(1):6-11.
- [7] 姜 薇,林文翰,郭守东. 野西瓜果实的化学成分研究[J]. 哈尔滨商业大学学报:自然科学版,2005,12(6):685-688.
- [8] 于 洋,吴兆华,吴立军. 山柑属植物化学成分及药理活性研究进展[J]. 沈阳药科大学学报,2007,24(2):124-126.
- [9] 郝 婕,董金皋. 天然抗氧化剂的提取分离及功能研究[J]. 河北林果研究,2005(3):369-372.
- [10] 丁克祥,刘卫国. 抗衰老实验与基础研究[M]. 北京:原子能出版社,1995:65-72.
- [17] Di MC, Delfine S, Pizzuto R, *et al.* Fere amino acids and glycine betaine in leaf osmoergulation of spinach responding to increasing salt steress [J]. New Phytotogist., 2003, 158(3):455-463.
- [18] 蒋明义,郭绍川. 水分亏缺诱导的氧化胁迫和植物的抗氧化作用[J]. 植物生理学通讯,1996,32.
- [19] Epstein E. Silicon. Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol, 1999, 50:641-664.
- [20] Liang Y. C., C. G Yang and H. H. Shi. Effects of silicon on growth and mineral composition of barley grown under toxic levels of aluminium[J]. J. Plant Nutr, 1999, 24(2): 229-243.
- [21] 张亚冰,刘崇怀,潘 兴,等. 盐胁迫下不同耐盐性葡萄砧木丙二醛和脯氨酸含量的变化[J]. 河南农业科学, 2006(4):84-86.
- [22] 张恩平,张淑红,司龙亭,等. NaCl 胁迫对黄瓜幼苗子叶膜脂过氧化的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2001, 32(6): 446-448.
- [23] Liang Y C. Effect of silicon on leaf ultrastructure, chlorophyll content and photosynthetic activity of barley under salt stress [J]. Pedosphere, 1998, 8(4):289-296.
- [24] 陈 阳,王 贺,张福锁,等. 硅盐互作下小璋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.
- [25] 束良佐,刘英惠. 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):1295-130.

(上接第 224 页)

作者：[王喜艳](#)，[张玉龙](#)，[张恒明](#)，[冯燕](#)，[佟倩](#)，[虞娜](#)，[WANG Xiyen](#)，[ZHANG Yulong](#)，[ZHANG Hengming](#)，[FENG Yan](#)，[TONG Qian](#)，[YU Na](#)

作者单位：[王喜艳](#),[WANG Xiyen](#)(沈阳农业大学, 土地与环境学院, 沈阳, 110161; 沈阳农业大学, 高等职业技术学院, 沈阳, 110122)，[张玉龙](#),[佟倩](#),[虞娜](#),[ZHANG Yulong](#),[TONG Qian](#),[YU Na](#)(沈阳农业大学, 土地与环境学院, 沈阳, 110161)，[张恒明](#),[ZHANG Hengming](#)(辽宁省环境科学研究院, 沈阳, 110031)，[冯燕](#),[FENG Yan](#)(沈阳农业大学, 高等职业技术学院, 沈阳, 110122)

刊名：[西北农业学报](#) 

英文刊名：[ACTA AGRICULTURAE BOREALI-OccIDENTALIS SINICA](#)

年，卷(期)：2009, 18(1)

被引用次数：6次

参考文献(25条)

1. [刘友良;毛才良;汪良驹](#) [植物耐盐研究进展](#) 1987(04)
2. [KALIR A;POLJAKOPF-MAYBER A](#) [Changes in activity of malate dehydrogenase, catalase, peroxidase and superoxide dismutase in leaves of Halimus protolacoides L. Alley exposed to high sodium chloride concentration](#) 1981
3. [汗良驹;千业遴;刘永良](#) [无花果耐盐机理研究盐逆境下脯氨酸和可溶性蛋白质的积累](#) 1989(04)
4. [赵可夫;邹琦;李得全](#) [盐分和水胁迫对盐生和非盐生植物膜脂过氧化作用的效应](#) 1993(07)
5. [孙国荣;彭永臻;阎秀峰](#) [干旱胁迫对白桦实生苗保护酶活性及膜质过氧化作用的影响](#)[期刊论文]-[林业科学](#) 2003(01)
6. [侯彦林;郭伟;朱永官](#) [非生物胁迫下硅素营养对植物的作用及其机理](#)[期刊论文]-[土壤通报](#) 2005(06)
7. [Epstein E](#) [Silicon](#)[外文期刊] 1999(0)
8. [梁永超;丁瑞兴;刘谦](#) [硅对大麦耐盐性的影响及其机制](#)[期刊论文]-[中国农业科学](#) 1999(06)
9. [钱琼秋;宰文珊;朱祝军](#) [外源硅对盐胁迫下黄瓜幼苗叶绿体活性氧清除系统的影响](#)[期刊论文]-[植物生理与分子生物学报](#) 2006(01)
10. [李合生](#) [植物生理生化实验原理和技术](#) 2003
11. [郝建军;刘延吉](#) [植物生理学实验技术](#) 2001
12. [Liang Y C;Chen Q;Liu Q](#) [Exogenous silicon\(Si\)increases antioxidant enzyme activity and reduces lipid peroxidation in roots of salt-stressed barley \(Hordeum vulgate L.\)](#)[外文期刊] 2003(10)
13. [陈贵;胡文玉;谢甫绌](#) [提取植物体内MDA溶剂及MDA作为衰老指标的探讨](#) 1991(01)
14. [刘友良;汪良驹](#) [植物对盐胁迫的反应和耐盐性](#) 1998
15. [Marschner H;Part I](#) [Nutritional physiology](#) 1995
16. [Lefevre I;Gratia E;Luts S](#) [Discrimination between the ionic and osmotic components of salt stress in relation to free polyamine level in rice\(Oryza sativa\)](#)[外文期刊] 2001(05)
17. [Di MC;Delfine S;Pizzuto R](#) [Fere amino acids and glycine betaine in leaf osmoergulation of spinach responding to increasing salt sterss](#)[外文期刊] 2003(03)
18. [蒋明义;郭绍川](#) [水分亏缺诱导的氧化胁迫和植物的抗氧化作用](#) 1996
19. [Epstein E](#) [Silicon](#)[外文期刊] 1999(0)
20. [Liang Y.C;C.G Yang;H.H. Shi](#) [Elects of silicon on growth and mineral composition of barley grown under toxic levels of aluminium](#) 1999(02)

21. [张亚冰;刘崇怀;潘 兴](#) [盐胁迫下不同耐盐性葡萄砧木丙二醛和脯氨酸含量的变化](#)[期刊论文]-[河南农业科学](#) 2006(04)
22. [张恩平;张淑红;司龙亨](#) [NaCl胁迫对黄瓜幼苗子叶膜脂过氧化的影响](#)[期刊论文]-[沈阳农业大学学报](#) 2001(06)
23. [Liang Y C](#) [Effect of silicon on leaf ultrastructure, chlorophyll content and photosynthetic activity of barley under salt stress](#)[外文期刊] 1998(04)
24. [陈 阳;王 贺;张福锁](#) [硅盐互作下小璋毛植物体内元素分布及生理特性的研究](#)[期刊论文]-[植物生态学报](#) 2003(02)
25. [束良佐;刘英惠](#) [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](#)[期刊论文]-[厦门大学学报\(自然科学版\)](#) 2001(06)

本文读者也读过(10条)

1. [徐呈祥. 徐锡增](#) [硅对盐胁迫下金丝小枣叶绿素荧光参数和气体交换的影响](#)[期刊论文]-[南京林业大学学报\(自然科学版\)](#) 2005, 29(1)
2. [刘建新. 胡浩斌. 王鑫. LIU Jian-xin. HU Hao-bin. WANG Xin](#) [硅对盐胁迫下黑麦草幼苗活性氧代谢和光合参数的影响](#)[期刊论文]-[中国草地学报](#) 2008, 30(5)
3. [沈艳华](#) [硅对杨树盐胁迫的缓解效应及其机理](#)[学位论文] 2008
4. [钱琼秋. 宰文珊. 朱祝军. 喻景权. QIAN Qiong-Qiu. ZAI Wen-San. ZHU Zhu-Jun. YU Jing-Quan](#) [外源硅对盐胁迫下黄瓜幼苗叶绿体活性氧清除系统的影响](#)[期刊论文]-[植物生理与分子生物学报](#) 2006, 32(1)
5. [束良佐. 刘英慧. SHU Liang-zuo. LIU Ying-hui](#) [硅对盐胁迫下玉米幼苗生长的影响](#)[期刊论文]-[农业环境保护](#) 2001, 20(1)
6. [姚秋菊. 张晓伟. 赵小忠. 魏国强. YAO Qiu-ju. ZHANG Xiao-wei. ZHAO Xiao-zhong. WEI Guo-qiang](#) [硅对盐胁迫下黄瓜叶片膜脂过氧化和活性氧清除系统的影响](#)[期刊论文]-[华北农学报](#) 2008, 23(1)
7. [沈艳华. 徐锡增. 方升佐. 杨万霞. 尚旭岚](#) [硅对盐胁迫下杨树幼苗生长和膜脂过氧化的影响](#)[期刊论文]-[福建林学院学报](#) 2009, 29(1)
8. [雷玉娟. 张振文. 白团辉. 韩姗姗. LEI Yu-juan. ZHANG Zhen-wen. BAI Tuan-hui. HAN Shan-shan](#) [硅对盐胁迫下葡萄幼苗生理效应的影响](#)[期刊论文]-[干旱地区农业研究](#) 2008, 26(5)
9. [徐呈祥. 马艳萍. 胡恒康. 徐锡增. XU Cheng-xiang. MA Yan-ping. HU heng-kang. XU Xi-zeng](#) [硅对盐胁迫下金丝小枣生长与生理的效应](#)[期刊论文]-[西北农林科技大学学报\(自然科学版\)](#) 2005, 33(5)
10. [沈艳华. 徐锡增. 方升佐. 杨万霞. 尚旭岚](#) [硅对盐胁迫下杨树幼苗生长和生理代谢的影响](#)[会议论文]-2008

引证文献(6条)

1. [孙振成. 王金辉. 梁明磊](#) [3.6%硅钼酸在蔬菜上的应用效果试验](#)[期刊论文]-[山东农业科学](#) 2009(6)
2. [薛令禄. 王金栋](#) [高锰胁迫条件下硅对诸城茶叶片保护酶系统活性影响的研究](#)[期刊论文]-[云南农业科技](#) 2013(6)
3. [周立名. 王飞. 王佳](#) [EMS诱变处理定向筛选猕猴桃耐盐突变体研究](#)[期刊论文]-[西北农业学报](#) 2009(5)
4. [吴海宁. 罗兴录. 樊吴静](#) [低温胁迫对不同木薯品种幼苗生理特性的影响](#)[期刊论文]-[南方农业学报](#) 2013(11)
5. [王喜艳. 张恒明. 张玉龙. 于文越. 李晓梅](#) [盐胁迫下硅对黄瓜叶片抗氧化酶活性和膜脂过氧化物的影响](#)[期刊论文]-[生态环境学报](#) 2009(4)
6. [王娟娟. 张文辉. 刘新成](#) [NaCl胁迫对3种不同处理四翅滨藜种子萌发的影响](#)[期刊论文]-[西北农业学报](#) 2010(1)

引用本文格式: [王喜艳, 张玉龙, 张恒明, 冯燕, 佟倩, 虞娜, WANG Xiyan, ZHANG Yulong, ZHANG Hengming, FENG Yan, TONG Qian, YU Na 盐胁迫下硅对黄瓜保护酶活性和膜质过氧化物的影响\[期刊论文\]-西北农业学报 2009\(1\)](#)