

土壤有效硅对黄瓜种子萌发和幼苗生长代谢的影响

李清芳 马成仓*

(淮北煤炭师范学院生物系, 淮北 235000)

摘要: 利用盆栽试验研究土壤有效硅对黄瓜种子萌发和幼苗生长代谢的影响。结果表明: 土壤有效硅含量在 $55.1 \sim 202.8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 范围内, 随含量的增高, 种子萌发过程中蛋白酶和脂肪酶活性升高, 呼吸速率加快, 种子活力升高, 萌发速度加快; 幼苗生长过程中光合强度增强, 根系活力、硝酸还原酶活力升高, 蒸腾强度减弱, 蒸腾比率和叶片含水量升高, 说明土壤中的硅被黄瓜有效利用; 土壤有效硅含量超过 $202.8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时, 其对黄瓜种子萌发和幼苗生长的促进作用不再显著增加。

关键词: 黄瓜; 土壤有效硅; 种子萌发; 幼苗生长; 代谢

中图分类号: S 642.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 0513-353X (2002) 05-0433-05

硅 (Si) 在土壤中的含量很多^[1]。但大多以硅酸盐结晶或沉淀形式存在, 土壤溶液中硅的浓度较低^[2], 其中只有具活性和可溶性的有效硅才能为植物所利用。许多土壤表现供硅不足, 所以在适宜的情况下施硅肥能促进作物生长, 提高产量和改良土壤性状^[3]。大量试验证明, 硅能增加水稻等作物产量^[1,4], 增强作物抗病虫害和抗倒伏能力^[1,5,6], 减轻铁、锰、铝的毒害作用, 抑制镉、铬的吸收^[7]和缓解盐害^[8]。在某些地区土壤中有效硅含量不足, 已成为作物高产、稳产的限制因子^[9]。黄瓜田间施硅, 可以降低病害, 明显增加产量^[10]。关于硅对黄瓜种子萌发和幼苗生长机制的研究未见报道。作者通过盆栽试验, 研究土壤有效硅对黄瓜种子萌发期间胚乳淀粉酶、蛋白酶、脂肪酶以及呼吸强度, 幼苗生长过程中叶绿素含量、光合强度、根系活力、硝酸还原酶活力和水分代谢等的影响, 为揭示硅对植物作用机制提供实验证据, 也为农业施肥提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 土壤有效硅的调节

土壤有效硅的调节参考梁永超的方法^[11]。选用淮北煤炭师范学院花园土, 土壤 pH 6.92, 有机质 $7.5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 速效磷 $7.76 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 速效钾 $140 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。以硝酸铵、磷酸二氢钙和硫酸钾作基肥, 用硅酸钾调节土壤有效硅含量为 55.1 (不加硅酸钾)、101.8、147.9、202.8、247.0 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (上述数字为加入硅酸钾后采用硅钼蓝比色法测定的有效硅含量), 加入 K_2SiO_3 所引入的钾量和负离子量从硫酸钾中扣除^[11], 以避免不同有效硅含量土壤之间钾和 pH 的差异。

1.2 发芽试验

将‘津春2号’黄瓜种子用 $1.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{HgCl}_2$ 消毒 10 min, 自来水冲洗数次, 播种于盛有不同含量有效硅的塑料盘中, 每盘 100 粒, 每处理 5 盘, 置光照培养箱中 25℃ 培养, 每日加入少量自来水。每天统计发芽数, 第 7 天计算发芽率, 测定幼苗鲜样质量, 计算活力指数, 播种后 72 h 起每天取样 1 次, 测定萌发种子呼吸强度, 胚乳淀粉酶、蛋白酶和脂肪酶活性, 共取样 3 次。

1.3 盆栽试验

试验在通风、光照良好的室外进行。选用直径 40 cm 的瓷花盆, 每盆装土 9.5 kg, 每处理重复 4

收稿日期: 2001-09-30; 修回日期: 2001-11-26

基金项目: 安徽省重点农业项目 (94-14)

*通讯作者

盆, 共计 20 盆。选取饱满一致的‘津春 2 号’黄瓜种子, 用 1.0 g L^{-1} 的 HgCl_2 溶液浸泡 10 min, 蒸馏水冲洗后于 25℃ 恒温光照培养箱内催芽 18 h, 2001 年 4 月 15 日播种, 每盆 30 粒, 覆盖地膜, 4 月 20 日去掉地膜, 间苗, 每盆保留 10 株, 视土壤含水量不定时浇灌自来水, 五叶一心 (5 月 16 日) 时取样, 测定硝酸还原酶活性、根系活力、叶绿素含量、光合强度、蒸腾强度、叶含水量、幼苗含硅量和幼苗鲜样质量。

1.4 测定方法

呼吸强度测定采用小篮子法^[12]。脂肪酶活性测定采用碱滴定法^[12]。酶单位定义为该系统下, 每滴定 $1 \text{ mL } 0.05 \text{ mol L}^{-1} \text{NaOH}$ 为一个酶单位。淀粉酶活性测定采用 3, 5 - 二硝基水杨酸还原法^[13], 反应时间为 10 min; 蛋白酶活性测定采用 Folin 酚法^[13], 反应时间为 22 h, 用 7220 分光光度计测定 500 nm (淀粉酶) 或 680 nm (蛋白酶) 光密度值, 酶活力单位定义为在上述各系统下, 光密度变化 0.100 为一个酶单位。叶绿素含量测定采用混合液 (丙酮 无水乙醇 = 1 : 1) 浸提法。硝酸还原酶活性测定采用磺胺比色法^[12]。根系活力测定采用 TTC 法, 用 TTC 的还原量表示根系活力。光合强度、蒸腾强度采用美国 CID 公司的 CF301PS 便携式光合作用测定仪直接测定。土壤有效硅用 pH4.0 的 1 mol L^{-1} 醋酸 - 醋酸钠缓冲液提取, 用硅钼蓝比色法测定。幼苗含硅量测定采用灰化后, 硅钼蓝比色法测定。

2 结果与分析

2.1 土壤有效硅对黄瓜种子活力和幼苗生长的影响

由表 1 可知, 土壤有效硅对黄瓜种子发芽率无显著影响。有效硅在 $55.1 \sim 202.8 \text{ mg kg}^{-1}$ 范围内, 随着硅含量的提高, 种子萌发速度加快, 胚生长加速, 种子活力提高, 幼苗生长也随之加快, 说明土壤有效硅对黄瓜种子萌发和幼苗生长具有促进作用。土壤有效硅含量超过 202.8 mg kg^{-1} , 促进作用不再显著增加, 也未见毒副作用。

表 1 土壤有效硅对黄瓜种子活力和幼苗生长的影响

Table 1 The effect of available Si in soil on seed vigor and seedling growth of cucumber

有效硅含量 Content of available Si (mg kg^{-1})	发芽率 Germination rate (%)	7 d		32 d 苗鲜样质量 32 days seedling FM (g)
		苗鲜样质量 Seedling FM (g)	活力指数 Vigor index	
55.1	85.6 a	0.121 a	5.43 a	3.56 a
101.8	86.2 a	0.144 b	7.45 b	3.87 b
147.9	85.8 a	0.158 c	8.80 c	4.16 c
202.8	86.0 a	0.170 d	10.1 d	4.41 d
247.0	86.4 a	0.172 d	10.4 d	4.49 d

注: 活力指数 = 发芽指数 \times 单株鲜样质量。

Note: Vigor index = germination index \times seedling FM.

2.2 土壤有效硅对黄瓜萌发种子呼吸速率的影响

由表 2 可知, 土壤有效硅对黄瓜幼苗呼吸速率有较大影响, 有效硅在 $55.1 \sim 202.8 \text{ mg kg}^{-1}$ 范围内, 随着含量的增高, 呼吸速率提高; 同一土壤有效硅含量随作用时间的延长促进作用愈明显。可见土壤有效硅在一定含量范围内能促进细胞产能代谢, 增强植物的生命活力。

2.3 土壤有效硅对黄瓜萌发种子淀粉酶、脂肪酶和蛋白酶活性的影响

由表 3 可知, 土壤有效硅对黄瓜幼苗淀粉酶无显著影响, 对蛋白酶、脂肪酶活性有很大影响。土壤有效硅在 $55.1 \sim 202.8 \text{ mg kg}^{-1}$ 范围内, 随着含量的增高, 胚乳蛋白酶、脂肪酶活性显著升高, 这有利于蛋白质、脂肪的分解, 为幼苗生长提供能量和物质基础。土壤有效硅含量大于 202.8 mg kg^{-1} , 胚乳蛋白酶、脂肪酶活性不再显著升高。

表 2 土壤有效硅对黄瓜萌发种子呼吸速率的影响

Table 2 The effect of available Si in soil on respiration rate of cucumber germination seeds ($\text{CO}_2\text{mg h}^{-1} \text{g}^{-1}\text{FM}$)

有效硅含量 Content of available Si (mg kg^{-1})	呼吸速率 Respiration rate		
	第 3 天 3rd day	第 4 天 4th day	第 5 天 5th day
55.1	0.367 a	0.380 a	0.395 a
101.8	0.383 b	0.400 b	0.423 b
147.9	0.413 c	0.423 c	0.455 c
202.8	0.427 d	0.440 d	0.500 d
247.0	0.423 d	0.443 d	0.506 d

表 3 土壤有效硅对黄瓜萌发种子淀粉酶、脂肪酶和蛋白酶活性的影响

Table 3 The effect of available Si in soil on activities of diastase, lipase and protease of cucumber germination seeds ($\text{U mg}^{-1}\text{DM}$)

有效硅含量 Content of available Si (mg kg^{-1})	胚乳淀粉酶 Endosperm diastase			胚乳蛋白酶 Endosperm protease			胚乳脂肪酶 Endosperm lipase		
	第 3 天 3rd day	第 4 天 4th day	第 5 天 5th day	第 3 天 3rd day	第 4 天 4th day	第 5 天 5th day	第 3 天 3rd day	第 4 天 4th day	第 5 天 5th day
55.1	1.92 a	2.14 a	3.25 a	6 a	8 a	11 a	5.0 a	6.2 a	7.1 a
101.8	1.93 a	2.21 a	3.28 a	10 b	13 b	17 b	5.4 b	6.9 b	7.8 b
147.9	1.95 a	2.20 a	3.37 a	18 c	20 c	25 c	5.9 c	7.6 c	8.6 c
202.8	1.93 a	2.19 a	3.30 a	23 d	25 d	32 d	6.3 d	8.4 d	9.5 d
247.0	1.95 a	2.20 a	3.31 a	24 d	26 d	34 d	6.5 d	8.6 d	9.7 d

2.4 土壤有效硅对黄瓜幼苗叶绿素含量及光合速率的影响

表 4 表明，随土壤有效硅含量的增加，黄瓜幼苗叶绿素含量无显著变化，但光合速率显著增加。说明土壤有效硅含量增加，能增强黄瓜幼苗的光能利用能力。

表 4 土壤有效硅对黄瓜幼苗（32 d）叶绿素含量及光合速率的影响

Table 4 The effect of available Si in soil on contents of chlorophyll and photosynthetic rate of cucumber seedlings (32nd day)

有效硅含量 Content of available Si (mg kg^{-1})	叶绿素 a Chlorophyll a ($\text{mg g}^{-1}\text{FM}$)	叶绿素 b Chlorophyll b ($\text{mg g}^{-1}\text{FM}$)	叶绿素总量 Chlorophyll sum ($\text{mg g}^{-1}\text{FM}$)	光合速率 Photosynthetic rate ($\text{CO}_2\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
55.1	5.18	2.65	7.83 a	3.39 a
101.8	5.33	2.75	8.08 a	3.67 b
147.9	5.22	2.68	7.90 a	3.95 c
202.8	5.29	2.54	7.83 a	4.45 d
247.0	5.31	2.69	8.00 a	4.61 e

2.5 土壤有效硅对黄瓜幼苗硝酸还原酶活性的影响

硝酸还原酶（NR）活力的高低直接影响到土壤中无机氮的利用率。土壤有效硅在 55.1 ~ 202.8 mg kg^{-1} 范围内，随着含量的增加，NR 活性逐渐增大（土壤有效硅含量为 55.1、101.8、147.9、202.8 mg kg^{-1} 的黄瓜幼苗叶片 NR 活性分别为 49、56、68、75 $\text{NO}_2^- \mu\text{g h}^{-1} \text{g}^{-1}\text{FM}$ ，根 NR 活性分别为 27、35、41、48 $\text{NO}_2^- \mu\text{g h}^{-1} \text{g}^{-1}\text{FM}$ ），即幼苗利用 N 素的能力逐渐增强；土壤有效硅含量大于 202.8 mg kg^{-1} ，NR 活性不再显著升高（土壤有效硅含量为 247.0 mg kg^{-1} ，叶 NR 活性为 76 $\text{NO}_2^- \mu\text{g h}^{-1} \text{g}^{-1}\text{FM}$ ，根 NR 活性为 49 $\text{NO}_2^- \mu\text{g h}^{-1} \text{g}^{-1}\text{FM}$ ）。

2.6 土壤有效硅对黄瓜幼苗根系活力的影响

有效硅为 55.1、101.8、147.9、202.8、247.0 mg kg^{-1} 土壤培养的黄瓜苗根系活力（还原 TTC）分别为 0.56、0.94、1.44、1.95、1.97 $\text{mg h}^{-1} \text{g}^{-1}\text{FM}$ 。表明土壤有效硅在 55.1 ~ 202.8 mg kg^{-1} 范

围内, 随含量的增加, 黄瓜幼苗根系活力明显增强。

2.7 土壤有效硅对黄瓜幼苗水分代谢的影响

由表 5 可知, 随着土壤有效硅含量增高黄瓜幼苗叶片含水量升高, 蒸腾作用降低。将叶片含水量和蒸腾作用综合分析, 可以看出硅使作物在水势升高的情况下降低了蒸腾强度, 说明硅能提高作物的抗旱性、保水能力, 其原因可能与 Si 在叶表皮细胞与角质之间沉积形成角质与硅的二层结构, 抑制了蒸腾有关。由表 5 知, 随着土壤有效硅含量升高, 叶片蒸腾比率 (植物每消耗 1 kg 水时所形成的干物质量) 升高, 说明硅使植物的水分利用效率提高, 也是植物抗旱保水性能良好的表现。

表 5 土壤有效硅对黄瓜幼苗 (32 d) 水分代谢的影响

Table 5 The effect of available Si in soil on water metabolism of cucumber seedlings (32nd day)

有效硅含量 Content of available Si ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	蒸腾强度 Transpiration rate ($\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	蒸腾比率 Transpiration ratio (g)	叶含水量 Water content of leaf ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$)
55.1	3.53 a	1.60 a	116 a
101.8	3.20 b	1.92 b	119 b
147.9	2.51 c	2.63 c	125 c
202.8	2.32 d	3.20 d	129 d
247.0	2.05 e	3.76 e	132 e

2.8 土壤有效硅对黄瓜幼苗含硅量的影响

土壤有效硅为 55.1、101.8、147.9、202.8、247.0 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 培养的黄瓜幼苗硅含量分别为 0.68、0.74、0.78、0.81、0.83 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{DM}$ 。表明随着土壤有效硅含量升高, 黄瓜植株含硅量增加, 说明土壤中的有效硅已被作物吸收并积累。

3 讨论

3.1 硅能增强作物的抗旱性

研究表明, 硅能增强作物的抗病虫害能力、抗倒伏能力^[2]、抗盐性^[8]和缓解重金属毒害^[7], 关于硅增强作物的抗旱性未见报道, 而本研究证明硅能增强作物的抗旱性, 我国北方地区多干旱, 施硅对北方农作物抗旱有重要意义。

3.2 硅通过改善作物的生理生化性质而影响作物生长发育

硅在土壤中含量非常丰富, 植物体内也含有大量的硅^[14], 水稻含 SiO_2 可达 20%, 小麦、大麦等禾本科植物含 2%~4%, 双子叶植物 0.04%~0.4%^[1], 但迄今为止尚无法证明硅是植物生长的必需元素。Epstein^[15]认为硅在植物生物学中的作用非常重要, 营养液配方中应包括硅。Cherif^[16]等报道水培液中的可溶性硅可显著快速提高接种过腐霉菌的黄瓜根系中的几丁质酶、过氧化物酶和多酚氧化酶活性。研究还发现硅对大麦叶绿素无显著影响^[11], 但能提高水稻的光合速率^[2]; 降低植物的水分蒸腾^[1]。结合与前人的研究结果, 可以推测进入作物体内的硅参与了植物的代谢和生理活动, 从而改善了植物的生长发育, 当然也不排除环境硅的作用。许多研究表明硅通过影响生态环境、增强植物抗逆性来影响植物, 本文认为更重要的是硅引起作物生理生化性质变化, 进而影响作物生长发育。本试验所研究的一些生理生化指标的变化可能是硅促进黄瓜幼苗生长的原因或表现。

3.3 我国黄瓜栽培施硅肥具有普遍增产作用

我国有一些省对水稻田土壤有效硅的分级规定, 小于 50 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 为严重缺硅, 50~100 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 为缺硅, 大于 100 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 为不缺硅土壤^[9]; 同时, 研究也表明当土壤有效硅含量为 200~300 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时施硅肥仍然有增产效果^[5]。本研究表明, 即使在不缺硅的土壤中, 提高土壤有效硅含量对黄瓜幼苗生长具有明显促进作用, 该促进作用递增的最高土壤有效硅含量为 202.8 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。而我国多数土壤有效硅含量在 200 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 以下^[2], 所以黄瓜田施硅肥具有普遍增产作用。

参考文献：

- 1 梁永超, 张永春, 马同生. 植物的硅素营养. 土壤学进展, 1993, 21 (3): 7~14
- 2 马同生. 我国水稻土硅素养分与硅肥施用研究现状. 土壤学进展, 1990, 18 (4): 1~5
- 3 周建华. 水稻硅营养及其研究进展. 广东农业科学, 1997, (增刊): 14~17
- 4 Epstein E. The anomaly of silicon in plant biology. Proc. Natl. Acad. Sci. USA., 1994, 91: 11~17
- 5 吴英, 赵秀春, 李树藩. 我省不同类型土壤水稻施硅肥效果的探讨. 黑龙江农业科学, 1987, (5): 8~12
- 6 Ahmad R, Zaheer S, Ismils. Role of silicon in salt tolerance of wheat (*Triticum aestivum* L.). Plant Sci., 1992, 85: 43~50
- 7 Tsugoshi Horigushi. Mechanism of manganese toxicity and tolerance of plants IV. effect of silicon on alleviation of manganese toxicity of rice plants. Soil Sci. Plant Nutr., 1988, 34 (1): 65~73
- 8 Yongchao L, Qirong S, Zhengguo S. Effects of silicon on salinity tolerance of two barley cultivars. J. Plant Nutr., 1996, 19 (1): 173~183
- 9 郑路, 何义斌, 邵建国. 安徽省土壤有效硅含量分布. 安徽农业大学学报, 1993, 20 (4): 287~291
- 10 Yasuto Niyake. 硅对黄瓜田间生长的影响. 土壤学进展, 1988, 16 (5): 45~46
- 11 梁永超, 丁瑞兴, 刘谦. 硅对大麦耐盐性的影响及其机制. 中国农业科学, 1999, 32 (6): 75~83
- 12 张志良. 植物生理学实验指导. 北京: 高等教育出版社, 1990. 65, 133, 236
- 13 北京师范大学生物系生化教研室. 基础生物化学实验. 北京: 人民教育出版社, 1982. 142, 162
- 14 Jianfeng M, Kazuo N, Eiichi T. Effect of silicon on the growth of rice plant at different growth stages. Soil Sci. Plant Nutr., 1989, 35 (3): 347~356
- 15 Epstein E. The anomaly of silicon in plant biology. Proc. Natl. Acad. Sci. USA., 1994, 91: 11~17
- 16 Cherif M, Asselin A, Belanger R R. Defense responses induced by soluble silicon in cucumber roots infected by *Pythium* spp. Phytopathology, 1994, 4: 236~242

Effect of Available Silicon in Soil on Cucumber Seed Germination and Seedling Growth Metabolism

Li Qingfang and Ma Chengchang

(Department of Biology, Huaibei Coal Normal College, Huaibei 235000, China)

Abstract : Cucumber plants were cultured in flowerpot for the investigation of the effect of available silicon in soil on cucumber seed germination and seedling growth metabolism. The result showed that when the content of available silicon in soil was between 55.1 and 202.8 mg · kg⁻¹, with the increase of available silicon in soil, the activities of protease and lipase during cucumber seed germination were promoted, the respiration rate of seedlings was accelerated, and seed vigor was increased; the photosynthesis rate, root activities and nitrate reductase activity of cucumber seedlings during seedlings growth were increased. The transpiration rate was decreased, while transpiration ratio and leaf water content were increased. From the facts above, it can be shown that silicon which was assimilated in soil improved nutrition metabolism of cucumber seed and seedling. As a result, seed germination and seedling growth rate were advanced. The investigation showed that the highest content of available silicon in soil which can increasingly promote seed germination and seedling growth rate was 202.8 mg · kg⁻¹.

Key words : Cucumber; Available silicon in soil; Seed germination; Seedling growth; Metabolism

2003 年《中国园林》改为月刊 欢迎订阅

《中国园林》是建设部中国风景园林学会主办, 建设部城市建设管理司协办, 国内外公开发行的学术刊物。本刊栏目丰富, 印装精美, 正文 80 页, 彩页数版, 是从事风景园林工作的专业技术人员、风景园林系统的领导干部和企业事业单位管理人员、园林设计与施工人员、大专院校风景园林专业师生的理想读物。单价 12.00 元, 全年 144 元。订阅代号: 82-217 (漏订者可直接到编辑部订阅)。电话: 010-68348041, 68339217 (传真), 电子信箱: jcla@china.com, 地址: 北京百万庄建设部北配楼 337 号, 邮编: 100835。