

硅对玉米种子萌发和幼苗生长作用机制初探*

马成仓 李清芳 束良佐 张经余

(淮北煤炭师范学院生物系, 安徽淮北 235000)

摘要 研究硅对玉米种子萌发和幼苗生长代谢的影响, 结果表明: 在 Si 浓度从 1.0 mmol/L 到 2.5 mmol/L 范围内, Si 能提高玉米种子萌发过程中淀粉酶、蛋白酶、脂肪酶活性, 促进呼吸代谢, 提高种子发芽率和增加单株鲜重。在幼苗生长阶段, Si 能增加叶绿素含量, 提高光合强度, 增强根系活力和硝酸还原酶活力, 降低蒸腾强度, 提高蒸腾比率、叶含水量。玉米苗吸收硅后, 营养代谢改善, 生长速度加快。

关键词 硅; 玉米; 种子萌发; 生长; 代谢

中图分类号: Q 945.12 **文献标识码**: A

Preliminary Explanation of the Mechanism about Effects of Silicon on Maize Seed Germination and Seedling Growth

MA Cheng-Cang LI Qing-Fang SHU Liang-Zuo ZHANG Jing-Yu

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

Abstract The effect of Silicon on seed germination and seedling growth of maize was investigated in this paper. The result showed that Silicon accelerate the growth and respiration rate of seedlings, and promoted the activities of diastase, protease and lipase during maize seed germination. Silicon increased contents of chlorophyll and photosynthesis rate, roots activities and nitrate reductase activity of maize seedlings during seedlings growth. Silicon decreased transpiration rate, while increased transpiration ratio and leaf water content. Silicon improved nutrition metabolism of maize seedlings and advanced seedlings growth rate.

Key words Maize; Silicon; Seed germination; Seedling growth; Metabolism

硅是禾本科作物的必需营养元素, 能改善许多植物的生长^[1, 2], 改善水稻功能叶着生姿态, 使光合生产率增高^[3], 增加植物茎壁厚度, 防止倒伏^[4, 5], Si 在茎叶表皮细胞与角质之间沉积形成角质与硅的二层结构, 抑制蒸腾^[6], 提高 N、P 肥的增产效果^[6], 提高千粒重、有效穗数和每穗实粒数^[7], 增强植株对真菌的抵御^[1], 减轻铁、锰、铝、镉、铬毒害^[1, 8, 9]和盐害^[10], 提高水稻、小麦、甘蔗产量^[11, 12, 4]。由于硅具有明显增产效应, 各地都在纷纷使用含硅物料, 可是对硅的营养生理功能至今未能确认, 而且目前硅的使用和研究大都集中在水稻, 对其它作物研究较少^[11, 12]。本文选取玉米为材

料, 在种子萌发期以胚乳淀粉酶、蛋白酶、脂肪酶以及呼吸强度为指标; 幼苗生长过程中以叶绿素含量、叶片光合强度、根系活力、硝酸还原酶活力和蒸腾强度等为指标, 研究硅对玉米种子萌发和苗期生长代谢的影响, 为揭示 Si 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 材料和方法

1.1 发芽试验

本文选取玉米品种掖单 2 号(河北承德公司)为材料, 将玉米种子用 0.1% 的 HgCl₂ 消毒后, 分别用 1.0、1.5、2.0、2.5 mmol/L Si(Na₂SO₃) 溶液和

* 基金项目: 安徽省重点农业项目(94-14)

作者简介: 马成仓(1963-), 男, 陕西澄城人, 硕士, 教授, 系主任, 研究方向: 环境生物学, 电话: 0561-3803460(宅), 3803237(办), 手机 13645610895

Received on(收稿日期): 2000-09-19; Accepted on(接受日期): 2001-11-08

蒸馏水浸种 12 小时后, 倒去多余的溶液, 置培养皿(铺一层滤纸)中暗处培养, 每培养皿 50 粒种子, 两个培养皿(100 粒种子)为 1 个重复, 温度 23℃, 重复 5 次, 每日加入少量相应溶液, 播后 48 小时起每 24 小时取样 1 次, 测幼苗呼吸强度, 胚乳淀粉酶, 蛋白酶和脂肪酶活力, 共取样 3 次。统计出芽率, 幼苗鲜重, 计算活力指数^[13]。

1.2 沙基培养试验

将玉米种子按单 2 号用 0.1% 的 HgCl₂ 消毒后, 播种于装有 5 cm 厚石英砂 35 cm × 47 cm 的大搪瓷盘中, 每盘 150 株, 分别用 1.0、1.5、2.0、2.5 mmol/L Si(Na₂SiO₃) 溶液和蒸馏水灌溉至石英砂湿润, 重复 3 次, 置玻璃室中培养, 出苗后间苗, 每盘保留 60 株, 播后第 7 天冲洗沙基, 加入含有相应浓度 Si 的培养液^[14], 以后每星期冲洗沙基 1 次, 重新加入上述培养液^[14], 培养 20 天取幼苗根和叶, 测定硝酸还原酶活力、根系活力、叶绿素含量、光合强度、蒸腾强度、叶含水量, 并测定幼苗鲜重。

1.3 测定方法

呼吸强度测定采用小篮子法^[14], 脂肪酶活力测

定采用碱滴定法^[14], 酶单位定义为该系统下, 每滴定 1 ml 0.05 mol/L NaOH 为一个酶单位。淀粉酶活力测定采用 3, 5-二硝基水杨酸还原法^[15], 反应时间为 10 分钟; 蛋白酶活力测定采用 Folin 酚法^[15], 反应时间为 22 小时, 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 1 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^[16], 按华东师范大学的方法^[17]计算。硝酸还原酶活力测定采用磺胺比色法^[14]。根系活力测定采用 TTC 法^[18]。光合强度、蒸腾强度采用美国 CD 公司的 CF-301PS 便携式光合作用测定仪直接测定。硅含量测定采用硅钼蓝比色法。

2 结果与分析

2.1 硅对玉米种子活力和幼苗生长的影响

由表 1 可知, 在种子萌发阶段, 随着 Si 浓度的提高, 种子活力增强, 发芽率提高, 单株鲜重增加。同样, 在苗期生长阶段, 硅对玉米生长也有促进作用。

表 1 硅对玉米种子活力和幼苗生长的影响

Table 1 The effect of Si on seed vigour and seedlings growth of maize

	Si 浓度 Si concentration (mmol/L)				
	0	1.0	1.5	2.0	2.5
发芽率(%) Germination rate	81.0	83.5*	84.5	86.0	90.5
7 天幼苗鲜重(g) 7 days seedlings FW	0.365	0.377*	0.382	0.400	0.420
活力指数 Vigour index	7.91	9.00	10.70	11.33	12.32
20 天幼苗鲜重(g) 20 days seedlings FW	8.12	8.46*	8.77	9.19	9.36

活力指数= 发芽指数 × 单株鲜重。 * 与对照差异显著, *t* 检验法 $P=5\%$, 下同。

Vigour index = germination index × seedling FW. * Significantly different from control at $P=5\%$ level with *t* test, similarly hereinafter

2.2 硅对玉米萌发种子呼吸速率的影响

由表 2 知, 硅对玉米种子萌发过程中呼吸速率的影响与硅浓度和作用时间有关, 随浓度升高, 促进作用愈明显; 同一浓度随作用时间的延长促进作用愈明显。

2.3 硅对玉米种子萌发中淀粉酶、脂肪酶和蛋白酶活力的影响

由表 3 可知, 加硅处理后淀粉酶、蛋白酶、脂肪酶活力都增强, 这就有利于淀粉、蛋白质、脂肪的分解, 为幼苗生长提供能源和物质基础, 更有利

表 2 硅对玉米萌发种子呼吸速率的影响

Table 2 The effect of Si on respiration rate of maize germination seed

		Si 浓度 Si concentration (mmol/L)				
		0	1.0	1.5	2.0	2.5
呼吸速率(mg CO ₂ /g 鲜重 · 小时)	第 2 天 2nd day	0.2	0.16	0.2	0.26*	0.30
Respiration rate (mg CO ₂ /gFW · h)	第 3 天 3rd day	0.34	0.33	0.36	0.42*	0.54
	第 4 天 4th day	0.4	0.43	0.46*	0.56	0.76

* 与对照差异显著 Significantly different from control at $P=5\%$ level with *t* test

表 3 硅对玉米萌发种子淀粉酶、脂肪酶和蛋白酶活性的影响

Table 3 The effect of Si on activities of diastase, lipase and protease of maize germination seed

		Si 浓度 Si concentration (mmol/L)				
		0	1.0	1.5	2.0	2.5
胚乳淀粉酶(U/mg 干重) Endosperm diastase (U/mgDW)	第 2 天 2nd day	18	23*	36	43	50
	第 3 天 3rd day	23	35*	39	49	66
	第 4 天 4th day	30	45*	50	65	76
胚乳蛋白酶(U/g 干重) Endosperm protease(U/gDW)	第 2 天 2nd day	8	14*	24	26	30
	第 3 天 3rd day	11	16*	26	32	35
	第 4 天 4th day	14	20*	29	37	40
胚乳脂肪酶(U/g 干重) Endosperm lipase(U/gDW)	第 2 天 2nd day	4.0	4.3*	4.9	5.2	5.9
	第 3 天 3rd day	5.1	5.8*	6.8	7.4	8.1
	第 4 天 4th day	6.0	6.8*	7.8	8.3	8.9

* 与对照差异显著 Significantly different from control at P= 5% level with t-test

于幼苗生长。

作物增产的一个重要因素。

2.4 硅对玉米叶片叶绿素含量和光合强度的影响

2.5 硅对玉米幼苗硝酸还原酶活性的影响

由表 4 可知, 加硅处理的幼苗叶片的叶绿素含量、光合速率均比对照高, 并且随着硅浓度的提高, 叶绿素含量、光合速率呈上升趋势。Si 提高了玉米苗叶绿素含量, 增强光合作用, 可能是 Si 促使

由表 5 可知, Si 对玉米苗硝酸还原酶活性有很大影响, 叶片和根系硝酸还原酶活性随着硅浓度升高而升高, 说明硅能提高玉米苗对培养液中氮素的利用。

表 4 硅对玉米叶片叶绿素含量和光合速率的影响

Table 4 The effect of Si on contents of chlorophyll and photosynthetic rate of leaf of maize seedlings(20th day)

		Si 浓度 Si concentration (mmol/L)				
		0	1.0	1.5	2.0	2.5
叶绿素 a Chbophyll a (mg/g FW)		4.27	4.85	5.03	5.95	7.16
叶绿素 b Chbophyll b (mg/g FW)		1.16	1.26	1.41	1.66	1.94
总含量 Chbophyll sum (mg/g FW)		5.43	6.11*	6.44	7.61	9.10
光合速率 (μmol CO ₂ /m ² · s)		5.26	5.35	6.45*	6.70	6.90
Photosynthetic rate						

* 与对照差异显著 Significantly different from control at P= 5% level with t-test

表 5 硅对玉米幼苗(20 天)硝酸还原酶活性的影响

Table 5 The effect of Si on activities of nitrate reductase of maize seedlings(20th day)

	Si 浓度 Si concentration (mmol/L)				
	0	1.0	1.5	2.0	2.5
叶(μg NO ₂ ⁻ /g 鲜重 · 小时) Leaf(μg NO ₂ ⁻ /gFW · h)	100	112*	142	162	175
根(μg NO ₂ ⁻ /g 鲜重 · 小时) Root(μg NO ₂ ⁻ /gFW · h)	79	92*	111	124	143

* 与对照差异显著 Significantly different from control at P= 5% level with t-test

表 6 硅对玉米苗(20 天)根系活力的影响

Table 6 The effect of Si on activities of root of maize seedlings (20th day)

	Si 浓度 Si concentration (mmol/L)				
	0	1.0	1.5	2.0	2.5
还原 TTC (mg/g 鲜重 · 小时) Reduced TTC (mg/g FW · h)	1.67	2.04*	2.55	3.30	4.08

* 与对照差异显著 Significantly different from control at P= 5% level with t-test

2.7 硅对玉米苗水分代谢的影响

由表 7 可知, 随着硅浓度的增高玉米苗叶片含水量升高, 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

2.6 硅对玉米苗根系活力的影响

由表 6 可知, 随着 Si 浓度升高, 玉米苗根系活力明显增强, 说明 Si 能影响玉米苗根系的功能, 促进根系对营养的利用。

关。由表7知,随着硅浓度升高,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,说明施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7 硅对玉米苗(20天)水分代谢的影响
Table 7 The effect of Si on water metabolism of maize seedlings(20 th day)

	Si 浓度 Si concentration (mmol/L)				
	0	1.0	1.5	2.0	2.5
蒸腾强度 (mmol/m ² ·s) Transpiration rate	2.06	1.80*	1.73	1.67	1.62
蒸腾比率(g) Transpiration ratio	4.27	4.97*	6.23	6.70	7.11
叶含水量(%) Water content of leaf	86.57	86.97	87.08	87.47	87.86
叶含水量(g/m ²) Water content of leaf	106	109*	114	119	125

* 与对照差异显著 Significantly different from control at $P=5\%$ level with t -test

2.8 硅对玉米苗含硅量的影响

表8可知,随着硅浓度升高,玉米植株含硅量增加,说明培养液中的硅已被作物吸收,在作物体内积累。

表8 硅对玉米苗(20天)含硅量的影响
Table 8 The effect of Si on Si contents of maize seedlings(20th day)

	Si 浓度 Si concentration (mmol/L)				
	0	1.0	1.5	2.0	2.5
地上部分 (mg/gDW) Stem and leaf	0	0.645	0.925	0.992	1.118
地下部分 (mg/gDW) Root	0	3.476	4.326	4.672	4.967

3 讨论

种子萌发所需的能量来源于种子贮存物质的氧化分解。贮存物质的分解需要酶的参与,因此种子发芽时酶的变化是最为明显的现象^[19]。玉米种子萌发依靠分解胚乳贮存的淀粉、蛋白质和脂肪为幼苗的生长提供能量和物质,故淀粉酶、蛋白酶和脂肪酶的活力直接影响种子萌发和幼苗生长速度。硅溶液培养可提高玉米萌发种子中胚乳的淀粉酶、蛋白酶和脂肪酶活力,促进呼吸。物质和能量供应充足,有利于胚发育。

在苗期生长阶段,生长发育的物质和能量来源于光合作用和根系对矿物质的吸收,所以叶绿素含

量、光合强度、根系活力、硝酸还原酶活性是影响幼苗生长的主要因素。Si能使玉米幼苗叶绿素含量提高,光合强度增强,提高了光能利用率,碳源积累速度加快。Si能改善根系活力,提高根系对营养物质的吸收。Si还能提高硝酸还原酶活性,提高氮素利用能力。这些可能是Si使作物增产的重要原因。

水分代谢是衡量植物生理功能和生长发育的重要指标。施硅能使玉米幼苗蒸腾作用下降,叶片含水量升高,蒸腾比率提高。维持较高水势,减少水分丧失,为增强代谢,加速合成提供了良好条件。另一方面,施硅使水分利用率提高,增强了作物抗旱性。我国北方地区多干旱,施硅对北方农作物抗旱有重要意义。

培养液中的硅能被作物吸收,在作物体内积累。分析组织硅含量和生理生化性质变化,可以推测本文所探讨的生理生化性质变化更可能是由于硅进入作物体内引起的变化,当然也不排除环境硅的作用。许多研究表明硅通过影响植物的生态环境,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。

本文所研究的一些生理生化指标的变化有些可能是硅促进玉米生长的原因,有些则可能是硅促进玉米生长的表现,究竟哪些是原因、哪些是表现还需进一步探讨。

References

- [1] Liang Y-C (梁永超), Zhang Y-C (张永春), Ma T-S (马同生). Nutrition of silicon for plant. *Advancement in Pedology* (土壤学进展), 1993, 21(3): 7~14
- [2] Epstein E. The anomaly of silicon in plant biology. *Proc Natl Acad Sci USA*, 1994, 91: 11~17
- [3] Ma T-S (马同生). Review of silicon nutrition and application of silicon fertilizer in national paddy soil. *Advancement in Pedology* (土壤学进展), 1990, 18(4): 1~5
- [4] Wu Y (吴英), Zhao X-C (赵秀春), Li S-P (李树藩). The probing into the effects of silicon fertilizer application to rice in different types of soil in our province. *Heilongjiang Agriculture Science* (黑龙江农业科学), 1987, (5): 8~12
- [5] Ahmad R, Zaheer S, Ismils. Role of silicon in salt tolerance of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant Sci* 1992, 85: 43~50
- [6] Zhu B-J (邹邦基). Silicon supplying capacity of soil and interaction of silicon and nitrogen or phosphorus. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 1993, 4(2): 150~155

- [7] Xiang W-S(向万胜), He D-Y(何电源), Liao G-L(廖光苓). The relationship between silicon forms and soil properties in Hunan province *Soil (土壤)*, 1993, 25(3): 146~ 151
- [8] Zhou J-H(周建华), Wang Y-R(王永锐). Physiological studies on poisoning effects of Cd and Cr on rice (*Oryza sativa* L.) seedlings through inhibition of Si nutrition *China J Appl Environ Biol(应用与环境生物学报)*, 1999, 5(1): 11~ 15
- [9] M atoh T, Kairumsee P, Takahashi E. Salt- induced danger to rice plants and alleviation effect of silicate, *Soil Sci Plant Nutr*, 1986, 32: 295~ 304
- [10] Yongchao L, Q iron S, Zhengguo S. Effects of silicon on salinity tolerance of two barley cultivars *J Plant Nutr*, 1996, 19(1): 173~ 183
- [11] Chen X-H(陈兴华), L iang Y-C(梁永超), M a T-S(马同生). Preliminary Explanation of the absorption of silicon by wheat *Soil and Fertilizer(土壤肥料)* 1991, (5): 38~ 40
- [12] L iu B-D(刘邦达). Effect of potassium and silicon fertilizers increasing yield and sucrose content of sugarcane *Sugarcane and Sugar Industry(甘蔗糖业)*, 1990, (1): 18~ 19
- [13] Tao J-L(陶嘉龄), Zhang G-H(郑光华). *Seed Vigor(种子活力)*, Beijing: Science Press, 1991, 109~ 110
- [14] Zhang Z-L(张志良). *A Guide of phytophysiological Experiment(植物生理学实验指导)*, Beijing: High Education Press, 1990, 45, 65, 133, 236
- [15] Teaching and research section of biochemistry of biology department of Beijing teachers university(北京师范大学生物系生化教研室). *Basic Biochemistry Experiments(基础生物化学实验)*, Beijing: High Education Press, 1982, 142, 162
- [16] Su Z-S(苏正淑), Zhang X-Z(张宪政). The comparison of methods for measuring the contents of chlorophyll in plant *Plant Physiology Communications(植物生理学通讯)*, 1989, 25(5): 77
- [17] Teaching and research section of plant physiology of biology department of Huadong teachers university. (华东师范大学生物系植物生理教研室). *A Guide of phytophysiological Experiment(植物生理学实验指导)*, Beijing: High Education press, 1980, 88
- [18] Shandong agricultural college(山东农学院), Xibei agricultural college(西北农学院). *A Guide of phytophysiological Experiment(植物生理学实验指导)*, Jinan: Shandong Science and Technology Press, 1985, 197
- [19] Bao Z-S(包中山). *Gem ination physiology(发芽生理学)*, Ma Y-B(马云彬) translated, Beijing: Agriculture Press, 1988, 62
- [20] Tsugoshi Horigushi. The alleviative effects of silicon on manganese toxin on rice *Advancem ent in Pedology(土壤学进展)*, 1990, 18(4): 48~ 51