

黑龙江省水稻硅肥效果研究

李玉影¹, 刘颖¹, 刘双全¹, 史绪梅², 张明怡¹, 姬景红¹, 冯力², 王立勇², 赵红敏²

(1. 黑龙江省农业科学院土壤肥料与环境资源研究所, 黑龙江哈尔滨 150086; 2. 庆安县农业技术推广中心, 黑龙江庆安 152400)

摘要: 盆栽试验结果表明, 在高铁、高锰胁迫下硅对水稻生理特性、生长发育和产量有明显的正效应。高浓度铁、锰和低浓度硅组合水稻根系活力和SOD酶活性最差, 丙二醛(MDA)含量最高。相反, 低浓度铁、锰和高浓度硅处理, 水稻相应的生理指标均高。高硅低铁锰组合和高硅高铁低锰组合, 较对照分别增产 15.2%和 3.4%; 高铁、锰组合不施硅肥较对照减产 72.7%; 低铁、锰组合不施硅肥较对照减产 20.5%; 高铁、高锰胁迫下施用硅肥增产 20.5%~72.7%, 盆栽条件下硅肥适宜用量(SiO_2)为 0.3~0.6 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。田间条件下水稻硅肥的适宜用量为 450~900 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 平均增产 10.7%, 平均增收 659 元 $\cdot \text{hm}^{-2}$ 。

关键词: 铁锰胁迫; 硅; 水稻; 生理指标; 产量

中图分类号: S511.062 文献标识码: A 文章编号: 1002-2767(2009)03-0060-04

Study on the Effect of Silicon Fertilizer Application on Rice in Heilongjiang Province

LI Yu-ying¹, LIU Ying¹, LIU Shuang-quan¹, SHI Xu-mei², ZHANG Ming-yi¹, JI Jing-hong¹, FENG Li², WANG Li-yong², ZHAO Hong-min²

(1. Soil and Fertilizer and Environmental Resource Institute of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin, Heilongjiang 150086; 2. Qing'an Agricultural Technology Extension Center, Qing'an, Heilongjiang 152400)

Abstract: The result of pot experiment showed that silicon had a positive effect on the physiological characteristics, growth and development and yield of rice under the condition of high iron and manganese stress. The indexes of roots activities and the activity of superoxide dismutase(SOD) were low, but the content of malondialdehyde(MDA) was high in the combination of high concentration of iron and manganese. On the contrast, the indexes of above mentioned were better than that in the combination of low concentration of iron and manganese and high concentration of silicon. The yield in the two combinations of high silicon, low manganese, low iron and high silicon, high iron, low manganese application was increased by 15.2% and 3.4% over that of control. The yield in the treatment of high iron and manganese without silicon application was decreased by 72.7% over that of control. The yield in the treatment of low manganese, low iron and high silicon, high iron, low manganese without silicon application was decreased by 20.5% over that of control. Under high iron and manganese stress with silicon application the yield increased by 20.5%~72.7%. The appropriate rate of silicon (SiO_2) application was 0.3~0.6 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ under the pot experiment condition. While the appropriate rate of silicon (SiO_2) application was 450~900 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, the yield increased by 10.7%, the benefits was increased by 659 yuan $\cdot \text{hm}^{-2}$ under field experiment condition.

Key words: iron and manganese stress; silicon; rice; physiological index; yield

老稻区由于长期淹水, 土壤通气不良, 氧化还原电位很低, 导致铁、锰离子浓度过高影响水稻生长发育, 常出现水稻苗叶片黄化, 根系黑死的症状, 导致植物中

毒^[1]。也有人认为土壤活性硅水平低是导致植株生长不良的直接原因, 施硅肥能减轻植株黄化病证^[2-3]。硅是水稻必需元素, 能预防和缓解高浓度铁、锰对作物的毒害^[4]。水稻是典型的喜硅作物, 其茎叶干物质中含 SiO_2 达 15%~20%, 施硅肥水稻成熟期提前, 抗病能力增强, 可增产 12%~18%^[5]。随着溶液中 Mn 浓度提高, 高粱茎部 Si、K、Ca、Zn、Cu 浓度降低, 施硅不仅使植株锰吸收减少, 而且增加了内部组织对过量锰的忍耐

收稿日期: 2008-11-27
基金项目: 国家留学人员科技活动资助项目[黑人函(2005)307号]; IPNI 资助项目
第一作者简介: 李玉影(1962-), 女, 黑龙江方正县人, 博士, 研究员, 从事植物营养研究。E-mail: liyuying1023@126.com.

力和根系氧化力^[6-7]。硅能改善水稻功能叶着生姿态,使光合生产率提高^[8],增加植物茎壁厚度,防止倒伏,提高氮磷肥的增产效果^[9]。黑龙江省水稻年种植面积在 233.3 万 hm² 左右,其中老稻区占 50% 左右,尤其是在东部偏酸性土壤上水稻受高铁、高锰胁迫比较严重,研究硅对缓解水稻铁锰毒害机理及效果具有重要的现实意义。

1 材料与方法

1.1 试验设计

1.1.1 水稻硅肥盆栽试验 试验采用盆栽试验方式,于 2006 年 4 月在黑龙江省农业科学院盆栽场进行。供试土壤类型为黑土,肥力中等,土壤有效锰含量 54.5 mg·kg⁻¹,有效铁含量 98.8 mg·kg⁻¹,有效硅含量 189.2 mg·kg⁻¹。采用 L₈(4×2⁴) 正交试验设计,其中硅素因子水平设 0、0.15、0.30、0.60 g·kg⁻¹ 4 个水平,铁设 300、1 200 mg·kg⁻¹ 2 个水平,锰设 100、400 mg·kg⁻¹ 2 个水平,另设一个无肥空白对照区。各处理养分组合见表 1。每盆装风干土 12 kg,以氮磷钾肥为底肥,用量分别为: N 0.25、P₂O₅ 0.1、K₂O 0.15 g·kg⁻¹。试验共设 9 个处理,8 次重复,随机区组排列。供试品种为龙稻 5 号,5 月 24 日插秧,每盆 3 穴,每穴 3 株。30% 氮肥和全部磷、钾肥、硅肥、铁和锰作基肥在插秧前施入,分蘖期追施 40% 氮肥,孕穗期追 30% 氮肥。于主要生育时期取植株样品测定生理指标,于 9 月 10 日收获。

表 1 水稻硅肥盆栽试验处理 g·kg⁻¹

处 理	Si	Fe	Mn
1. Si1Fe1Mn1	0	300	100
2. Si1Fe2Mn2	0	1200	400
3. Si2Fe1Mn2	0.15	300	400
4. Si2Fe2Mn1	0.15	1200	100
5. Si3Fe1Mn2	0.30	300	400
6. Si3Fe2Mn1	0.30	1200	100
7. Si4Fe1Mn1	0.60	300	100
8. Si4Fe2Mn2	0.60	1200	400
9. Si0Fe0Mn0	0	0	0

1.1.2 水稻硅肥田间试验 试验于 2007 年在黑龙江省水稻主产区方正县和庆安县进行。方正县试验点为宝兴乡胜利村的生产田,土壤类型为白浆化黑土,肥力中等,土壤 pH 为 5.84,有机质含量 28.9 g·kg⁻¹,碱解氮、速效磷(P₂O₅)和速效钾(K₂O)的平均含量分别为 107.3、24.7 和 102.4 mg·kg⁻¹,有效硅(SiO₂)含量为 182.6 mg·kg⁻¹。庆安县试验点为勤劳镇勤富村的生产田,土壤类型为草甸黑土,肥力较高,土壤 pH 6.14,有机质平均含量 41.6 g·kg⁻¹,碱解氮、速效磷(P)和速效钾(K)的平均含量分别为 136.9、32.9 和 136.2 mg·kg⁻¹,有效硅(SiO₂)含量为 227.4 mg·kg⁻¹。

供试硅肥为大连希林索科工贸有限公司生产的

“希林索”牌硅肥(含 SiO₂ 20%)。试验设 6 个处理,以氮、磷、钾肥为对照(CK),硅肥设 4 个水平,另外在 Si₂ 水平上设磷的减量处理。小区面积 21 m²,3 次重复,随机区组排列。氮肥用尿素,磷肥用磷酸二铵,钾肥用氯化钾。氮肥 40% 作基肥,60% 作追肥,磷肥、钾肥和硅肥全部作基肥耙地时施入。方正县供试水稻品种为龙稻 5 号,庆安县供试水稻品种为龙粳 12,插秧规格 30 cm×13.2 cm,每穴 3 株。单排单灌,以免影响肥料效果。试验处理见表 2。

表 2 水稻硅肥田间试验处理

处理	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	硅肥	施肥成本
	/ kg·hm ⁻²	/ kg·hm ⁻²	/ kg·hm ⁻²	/ kg·hm ⁻²	/ 元·hm ⁻²
1. P1Si0	135	60	75	0	1 039
2. P1Si1	135	60	75	225	1 219
3. P1Si2	135	60	75	450	1 399
4. P1Si3	135	60	75	900	1 759
5. P1Si4	135	60	75	1800	2 479
6. P2Si2	135	30	75	450	1 249

注 尿素含 N46%, 价格 1 750 元·t⁻¹; 磷酸二铵含 N18%、含 P₂O₅ 46%, 价格 2 300 元·t⁻¹; 氯化钾含 K₂O60%, 价格 1 800 元·t⁻¹; 硅肥含 SiO₂ 20%, 价格 800 元·t⁻¹。

1.2 测试方法

1.2.1 水稻根系活力测定 采用 TTC 法^[19]测定。
1.2.2 水稻超氧化物歧化酶活力测定 采用氮蓝四唑 NBT 法^[10]测定。
1.2.3 水稻丙二醛含量测定 过氧化物以硫代巴比妥酸反应物(TBARS)表示,用 TBA-可见光分光光度法测定^[19]。

2 结果与分析

2.1 硅对水稻生理特性的影响

2.1.1 硅对水稻根系活力的影响 植物根系是活跃的吸收器官和合成器官,根的生长情况和活力水平直接影响地上部分的营养状况及产量水平。试验结果表明,不同施肥处理对水稻根系活力有很大影响,尤其是高浓度铁、锰胁迫下水稻根系活力明显降低,施用硅肥对缓解水稻铁锰毒害有显著效果。水稻不同生育期测定结果表明,效果最好的是处理 7,其次是处理 6,再次是处理 3,效果最差的是处理 4 和处理 5,即高浓度铁锰和低浓度硅组合水稻根系活力最差,高浓度硅和低浓度铁锰组合水稻根系活力高。可见,硅在缓解铁锰毒害方面有显著正效应(见表 3)。

2.1.2 硅对水稻超氧化物歧化酶活性的影响 超氧化物歧化酶(SOD)是植物与病原物识别过程中产生初始抗性信息的一个关键酶,它的主要功能是通过歧化反应清除超氧阴离子自由基,因此 SOD 常作为抗性机制起作用。试验结果表明,不同施肥处理对水稻 SOD 活性有很大影响,效果最好的是处理 7,其次是处理 9、

再次是处理 8, 效果最差的是处理 2 和处理 5, 即高浓度铁、锰和低浓度硅组合水稻 SOD 活性最差 高浓度硅和低浓度、铁锰组合及未施铁、锰和硅处理的水稻 SOD 活性高。可见, 硅在缓解铁锰毒害方面有显著正效应(见表 3)。

2.1.3 硅对水稻丙二醛含量的影响 植物衰老时, 或在逆境条件下, 往往发生脂膜过氧化作用, 丙二醛(MDA)是其产物之一, 通常利用它作为脂膜过氧化指标, 表示细胞脂膜过氧化程度和植物对逆境条件反应的强弱。植物体内积累过量的 Fe^{2+} 也是活性氧的诱发剂, Fe^{2+} 能诱导膜脂过氧化^[1]。试验结果表明, 高铁、高锰胁迫下, 水稻 MDA 含量明显增加, 在水稻分蘖期测定结果, MDA 含量最高的是处理 2 和处理 5, 最低的是处理 7 和处理 8; 在水稻开花期测定结果, MDA 含量最高的是处理 2 和处理 4, 最低的是处理 7 和处理 6(见表 3)。

从分蘖期和开花期各项指标测定结果综合评价: 处理 7 第一, 处理 6 第二, 处理 8 第三, 依次为处理 3、处理 9、处理 1、处理 4、处理 5 和处理 2。可见, 不同硅、铁、锰用量组合对水稻生理特性有不同影响, 高水平硅肥用量对缓解水稻铁锰毒害效果最好, 尤其在中、低浓度铁锰胁迫条件下。

表 3 硅对水稻生理特性的影响

日期	处理	根系活力	SOD 活性	MDA	位 次
		$/\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$	$/\text{unit} \cdot \text{g}^{-1}$	$/\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$	
06-21 (分蘖期)	1、Si1Fe1Mn1	99.4	460.2	9.33	4
	2、Si1Fe2Mn2	50.9	347.7	16.03	9
	3、Si2Fe1Mn2	124.0	498.6	9.74	6
	4、Si2Fe2Mn1	65.3	531.0	9.01	7
	5、Si3Fe1Mn2	92.5	344.0	13.03	8
	6、Si3Fe2Mn1	123.6	564.4	8.73	3
	7、Si4Fe1Mn1	156.7	702.4	5.31	1
	8、Si4Fe2Mn2	120.7	597.7	8.09	2
	9、Si0Fe0Mn0	103.2	502.3	8.54	5
07-27 (开花期)	1、Si1Fe1Mn1	113.3	280.6	17.85	6
	2、Si1Fe2Mn2	69.4	132.0	25.61	9
	3、Si2Fe1Mn2	136.3	370.0	11.34	4
	4、Si2Fe2Mn1	85.2	273.2	20.13	8
	5、Si3Fe1Mn2	110.4	206.9	16.07	7
	6、Si3Fe2Mn1	141.9	339.1	10.30	2
	7、Si4Fe1Mn1	173.0	484.3	8.23	1
	8、Si4Fe2Mn2	132.8	350.0	13.37	3
	9、Si0Fe0Mn0	115.9	391.7	16.00	5

2.2 硅对水稻产量的影响

2.2.1 盆栽试验产量效果 产量结果表明(见表 4), 处理 7 效果最好, 其次是处理 6, 即 $0.3 \sim 0.6 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{SiO}_2$ 用量适宜(高硅铁低锰组合和高硅高铁低锰组合), 较对照分别增产 15.2%和 3.4%。在高铁、高锰组合不施硅肥条件下, 较对照减产 72.7%; 在低铁、低锰组合不施硅肥

条件下, 较对照减产 20.5%。试验结果显示, 在有硅肥配合条件下可以适当放宽铁锰值范围, 但铁、锰分别不应超过 1200 和 $400 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 在不施硅肥条件下应严格控制铁锰用量或调控土壤中铁锰含量, 使铁含量低于 $600 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、锰含量低于 $200 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

表 4 硅对水稻盆栽试验产量的影响

处理	产量 $/\text{g} \cdot \text{盆}^{-1}$	相对产量		差异显著性	
		$/\text{g} \cdot \text{盆}^{-1}$	$/\%$	0.05	0.01
1、Si1Fe1Mn1	61.7	— 15.9	— 20.5	d	C
2、Si1Fe2Mn2	21.2	— 56.4	— 72.7	f	E
3、Si2Fe1Mn2	37.1	— 40.5	— 52.2	e	D
4、Si2Fe2Mn1	45.2	— 32.4	— 41.8	e	D
5、Si3Fe1Mn2	78.0	0.4	0.5	bc	AB
6、Si3Fe2Mn1	80.2	2.6	3.4	ab	AB
7、Si4Fe1Mn1	89.4	11.8	15.2	a	A
8、Si4Fe2Mn2	70.0	— 7.6	— 9.8	cd	BC
9、Si0Fe0Mn0	77.6	—	—	bc	AB

2.2.2 田间试验产量效果 试验结果表明(见表 5), 硅对水稻有显著的增产作用。方正试验点施硅肥处理较对照平均增产 $784 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 平均增产率 10.7%; 庆安试验点施硅肥处理较对照平均增产 $767 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 平均增产率 10.6%。两个试验点平均施硅肥处理较对照平均增产 $776 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 增产率 10.7%。

表 5 硅对水稻田间试验产量的影响

地点	处理	产量 $/\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$	相对产量 $/\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$	相对产量 $/\%$	差异显著性	
					0.05	0.01
方正县	1. P1Si0	7336	—	—	c	B
	2. P1Si1	7459	123	1.7	c	B
	3. P1Si2	8265	929	12.7	a	A
	4. P1Si3	8498	1162	15.8	a	A
	5. P1Si4	7994	658	9.0	b	AB
	6. P2Si2	8385	1049	14.3	ab	A
平均	CK	7336	—	—		
	Si	8120	784	10.7		
庆安县	1. P1Si0	7221	—	—	b	A
	2. P1Si1	7700	479	6.6	ab	A
	3. P1Si2	7965	744	10.3	ab	A
	4. P1Si3	8276	1055	14.6	a	A
	5. P1Si4	7901	680	9.4	ab	A
	6. P2Si2	8099	878	12.2	a	A
平均	CK	7221	—	—		
	Si	7988	767	10.6		

2.3 硅对水稻经济效益的影响

效益分析显示(见表 6), 方正试验点施硅肥较对照平均增收 $672 \text{ 元} \cdot \text{hm}^{-2}$, 效益最好的是处理 6, 依次是处理 4 和处理 3, 分别增收 1468 、 1139 和 $1126 \text{ 元} \cdot \text{hm}^{-2}$; 庆安试验点施硅肥较对照平均增收 $645 \text{ 元} \cdot \text{hm}^{-2}$, 效益最好的是处理 6, 依次是处理 4、处理 3 分别为 1195 、

968 和 830 元°hm⁻²。两个点施硅肥较对照平均增收 659 元°hm⁻²,硅肥适宜用量为 450~900 kg°hm⁻²。

表 6 硅肥对水稻效益的影响

地点	处理	产量	增产	施肥	效益
		/ kg°hm ⁻²	/ kg°hm ⁻²	成本 / 元°hm ⁻²	/ 元°hm ⁻²
方正县	1. P1Si0	7336	—	1039	—
	2. P1Si1	7459	123	1219	16.8
	3. P1Si2	8265	929	1399	1126
	4. P1Si3	8498	1162	1759	1139
	5. P1Si4	7994	658	2479	—387
	6. P2Si2	8385	1049	1249	1468
平均	CK	7336	—	1039	—
	Si	8120	784	1621	672
庆安县	1. P1Si0	7221	—	1039	—
	2. P1Si1	7700	479	1219	586
	3. P1Si2	7965	744	1399	830
	4. P1Si3	8276	1055	1759	968
	5. P1Si4	7901	680	2479	—352
	6. P2Si2	8099	878	1249	1195
平均	CK	7221	—	1039	—
	Si	7988	767	1621	645

注:水稻价格为 1.60 元°kg⁻¹。

3 结论

- 3.1 试验结果表明,在高铁、高锰胁迫下硅对水稻生理特性、生长发育和产量有明显的效果。高浓度铁锰和低浓度硅组合水稻根系活力和 SOD 酶活性最差、过氧化物 MDA 含量最高。相反,低浓度铁、锰和高浓度硅处理水稻相应的生理指标均高。可见,硅在缓解铁锰毒害方面有显著正效应。
- 3.2 高铁、高锰胁迫主要影响水稻根系发育、减少分蘖数、穗粒数少、结实率低、千粒重小,严重影响产量;高硅低铁锰组合和高硅高铁低锰组合较对照分别增产 15.2%和 3.4%;在高铁、高锰组合不施硅肥较对照减产 72.7%;低铁、低锰组合不施硅肥较对照减产 20.5%;硅肥适宜用量(SiO₂)0.3~0.6 mg°kg⁻¹。
- 3.3 田间试验结果显示,施硅肥处理较对照有效穗

数、株高、穗长、穗粒数和千粒重平均增加 32.8 个°m⁻²、5.1 cm、0.9 cm、11.2 粒°穗⁻¹、0.7 g,空瘪率平均降低 1.8 个百分点。黑龙江省水稻硅肥的适宜用量为 450~900 kg°hm⁻²。施硅肥较对照平均增产 776 kg°hm⁻²,平均增产率 10.7%,平均增收 659 元°hm⁻²。

3.4 根据黑龙江省农业科学院土壤肥料与环境资源研究所研究表明,黑龙江省土壤有效硅含量较低,平均在 190.1 mg°kg⁻¹,水稻土有效硅含量平均在 194.3 mg°kg⁻¹,处于中等偏下水平。研究和应用硅肥对缓解水稻铁锰毒害,增加水稻硅素营养施硅肥是水稻获得高产、优质、高效的重要途径之一。

参考文献:

[1] 丁贤茂,樊友安.红壤新开稻田黄叶、黑根的研究[J].土壤通报,1980(4):22-24.

[2] 廖宗文.应用电子探针研究黄叶生理病的水稻根内硅和铁分布[J].植物生理学报,1989,15(1):52-56.

[3] 王建林,廖宗文,刘芷宇.根际中硅、铝、铁和锰的状况与水稻生长[J].应用生态学报,1991,2(3):232-237.

[4] 邵邻相,黄伯钟,丁淑静.锌、锰、铁和铜离子对水稻幼苗生长及 SOD 活性的影响[J].种子,2001(6):16-17.

[5] 江立庚,甘秀芹,韦善清,等.水稻物质生产与氮、磷、钾、硅素累积特点及其相互关系[J].应用生态学报,2004,15(2):226-229.

[6] 杨艳芳,梁永超,娄运生,等.硅对小麦过氧化物酶、超氧化物歧化酶和木质素的影响及与抗白粉病的关系[J].中国农业科学,2003,36(7):813-817.

[7] 徐金森,段鹏程,王艳丽,等.锆、硅对水稻营养生长的影响[J].厦门大学学报,1999,38(1):121-128.

[8] Epstein E. The anomaly of silicon in plant biology[J]. Proc Natl Acad Sci USA, 1994 91: 11-17.

[9] 吴英,赵秀春,李树藩.我省不同土壤类型水稻硅肥效果探索[J].黑龙江农业科学,1987(5):8-12.

[10] 李合生,孙群,赵世杰,等.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2000.

[11] 周建林,唐建军.水稻耐铁毒性的生理指标研究[J].应用生态学报,2001,12(1):159-160.

小麦拔节期肥水管理关键

- 1 对植株较弱、叶色黄绿、大小蘖差距显著或两极分化提早出现的麦田,应早浇水,并结合浇水施肥,施尿素 105 kg°hm⁻²。到拔节后期浇第二次水,施尿素 75~90 kg°hm⁻²,可增加小麦穗粒数和千粒重,提高小麦品质。
- 2 如果麦苗敦实,叶色葱绿,中度封垄,通风透光较好,两极分化明显,成穗茎和末成穗茎之间出现较明显的差别,是生长良好的标志。对此类麦田拔节肥水的施用,应在节拔出地面 2 cm 左右时进行,如果墒情足,则应到孕穗期再施肥浇水。追肥不宜过多,以防麦苗旺长。同时,结合病虫害的防治,叶面喷洒磷酸二氢钾、叶面宝等多元素微肥,可有效减少不孕小花数,提高灌浆程度,加快灌浆进程,减轻后期干热风危害,增加小麦穗粒数和千粒重。
- 3 麦苗苗色浓绿,拔节时不变淡,叶片宽厚,是旺苗的标志。这种苗严重封垄,大小蘖均生长旺盛,两极分化不明显,群体郁蔽,表明前期肥水过量。应该以蹲苗、中耕、控制旺长为主,不追肥,到孕穗期再浇水。另外,要注重控制好群体,防止倒伏。