

上海地区农田土壤有效硅含量状况 及水稻施硅效应研究

茅国芳 汪传炳

(上海市农业技术推广服务中心 上海 201103)

摘 要 上海地区主要水稻土的有效 Si 含量 $>400\text{mg/kg}$ 很少, 大多在 $100 \sim 400\text{mg/kg}$ 之间; 水稻植株 SiO_2 含量平均为 8%, 且大多数水稻植株 SiO_2/N 和 $\text{SiO}_2/\text{K}_2\text{O}$ 的比值在 11 和 4.5 左右, 均未达到正常值。同时, 上海地区灌溉水中的 SiO_2 含量在 10mg/kg 以下, 对水稻供 Si 作用不大。水稻 Si 肥试验结果表明, 施 Si 水稻植株体中 SiO_2/N 和 $\text{SiO}_2/\text{K}_2\text{O}$ 的比值升高, 植株中 Si 的增加与水稻产量增加呈正相关。土壤有效 Si 含量低于 320mg/kg , 施用 Si 肥后水稻增产显著; 土壤有效 Si 含量在 $320 \sim 420\text{mg/kg}$, 施用 Si 肥后的增产幅度在 4%~6% 之间。而适量施 Si 肥能明显促进水稻对 P 的吸收, 这对于土壤大量潜在 P 素的利用也是一项有效措施。

关键词 土壤有效 Si; 水稻施 Si; 效应; 水渣 Si 肥

硅是水稻生长不可缺少的必需元素之一, 在水稻生长发育过程中发挥着多种生理作用, 与水稻产量形成密切相关。同时, Si 在提高水稻抗逆作用, 防止早衰, 提高稻米品质亦有其独特的作用功效。

上海土壤中的有效 Si 含量过去一直认为比较丰富, 所以长期以来本市农业生产中不施任何形态的 Si 肥。但随着农田生物循环年年延续, 土壤中有有效 Si 被大量移出土壤系统之外, Si 的动态循环失去平衡, 其供 Si 强度在逐步下降, 水稻隐性和显性缺 Si 的症状已在多方面表现出来。

1 材料与方法

1.1 田间试验设计

1998 年在上海市郊金山、松江、闵行、青浦、奉贤、崇明、宝山及浦东新区 8 县(区)安排水稻 Si 肥小区试验。试验所用 Si 肥采用上海市农业技术推广服务中心与上海宝钢集团企业开发总公司 Si 肥项目组联合研制的水渣 Si 肥, 其可溶性 Si 含量为 30%。

试验设 Si 肥处理区与对照区, Si 肥处理区按每 hm^2 施水渣 Si 肥 750kg 计算用量, 其中 60% 作基肥用, 40% 作穗肥用。并在试验前采集小区耕层 $0 \sim 20\text{cm}$ 土样, 分析土壤有效 Si 含量; 在水稻生长期间采集试验区灌溉水样, 并在水稻齐穗期采集水稻植株样品, 分别测定 SiO_2 、全 N、全 P 和全 K 含量。水稻成熟以后对水稻的产量结构及实际产量进行考察。

1.2 水稻 Si 肥应用示范试验

1999 年进行了水稻 Si 肥的应用示范试验和用量试验。试验仍采用水渣 Si 肥, 在奉贤县金汇集、崇明县新民镇、嘉定区华亭镇、宝山区横沙镇各设一个示范区, 面积为 33.3hm^2 。

在当地常规施肥的基础上, 每 hm^2 施用 750kgSi 肥作基肥。同时设常规施肥区作为对照, 对 Si 肥的施用结果进行比较。

1.3 土壤和水稻植株样品采集

2000 年采集本市 45 个乡(镇)7 种不同类型水稻土耕层 0~20cm 土样 164 个, 分析土壤的有效 Si 含量, 在较大范围内了解本市土壤有效 Si 的背景含量; 并于水稻齐穗期后采集水稻植株样品 70 个, 分析其粗 Si、全 N、全 K 等生化指标, 进一步测算本市水稻在常规施肥条件下植株的含 Si 量、Si/N 值及 Si/K 值, 更广泛地了解上海地区水稻 Si 营养的基本情况。

1.4 本试验中所用的分析方法见参考文献^[1,2]

2 结果与分析

2.1 上海地区水稻 Si 营养的供给

2.1.1 上海地区灌溉水中的含 Si 量 在不施任何形态 Si 肥的情况下, 水稻在生长过程中所需的 Si 元素, 主要有两大来源: 灌溉水和土壤。灌溉水中溶解有一定量的 Si 酸, 可以为水稻吸收利用。今泉吉郎和吉田昌^[3]指出, 水稻吸收的 Si 有 27% 来自灌溉水, 73% 来自土壤; 一般说, 如果灌溉水 Si 含量(SiO_2) $<10\text{g/ml}$, 水稻生长缺 Si 的可能性就会明显增大。

从表 1 可以看出, 上海地区灌溉水中 SiO_2 的含量除宝山月浦大于 10mg/L 外, 其它 7 个区(县)均 $<10\text{mg/L}$, 这说明上海地区灌溉水中 SiO_2 的含量大多数很低, 由灌溉水供给水稻的 Si 养分十分有限。

表 1 灌溉水中 SiO_2 含量

取样地点	灌溉水中 SiO_2 含量 (mg/L)
金山枫围	2.5
奉贤新寺	1.2
松江新桥	1.5
青浦香花	1.7
浦东顾路	7.1
崇明大兴	3.5
宝山月浦	11.8
闵行马桥	9.2

2.1.2 上海主要水稻土的有效 Si 背景含量及分布 1999 年在市郊 45 个乡(镇)7 种水稻土上采集的土壤样品分析结果表明, 上海农田土壤的有效 Si 含量除极少数样品超过 400mg/kg 以外, 绝大多数在 $100\sim400\text{mg/kg}$ 之间。从表 2 的结果可见, 同一种土壤有效 Si 的最低和最高含量之间的变化较大。从有效 Si 含量的平均值来看, 黄潮泥、沟干泥和黄泥是本市水稻土中有效 Si 含量高的土壤, 它们之间有效 Si 的含量相差不大。青紫泥和夹沙泥的有效 Si 含量中等, 而夹沙土和黄夹沙两种土壤是本市有效 Si 含量最低的土壤。

表 2 上海地区主要水稻土有效 Si 含量

位次	土壤类型	土壤有效 Si 含量 ($\text{SiO}_2\text{ mg/kg}$)				水稻植株 Si 含量	
		样品数 (个)	最低	最高	平均值	样品数 (个)	SiO_2 (%)
1	黄潮泥	8	242	406	369.2		
2	沟干泥	28	248	428	355.2	10	8.69
3	黄泥	28	218	441	344.6	16	8.65
4	夹沙泥	17	177	348	251.7	9	7.78
5	青紫泥	28	190	288	240.9	8	7.56
6	夹沙土	28	124	262	172.4	13	8.57
7	黄夹沙	27	112	310	145.0	14	7.47

2.1.3 土壤有效 Si 的剖面分布 表 3 结果表明, 黄泥和黄泥土两种土壤不同层次有效 Si 的含量随着深度的增加而增加, 土壤有效 Si 明显存在溶脱现象, 耕层的有效 Si 向下淋失,

并在犁底层下开始积累。

2.1.4 土壤有效 Si 含量与水稻吸收 Si 养分的关系 土壤中的 SiO_2 的含量很高,但大多数含 Si 化合物都十分稳定,在水中的溶解度很小,对水稻 Si 养分的供给不起直接作用。土壤有效 Si 是水稻生长过程中所需 Si 的主要来源。1998 年我们对 Si 肥试验中 7 个小区土壤有效 Si 含量与相应试验区内水稻植株的 SiO_2 含量进行了回归分析,结果表明,水稻植株的含 Si 量(y)与土壤有效 Si 含量(x)之间的关系式为 $Y=0.0083x+2.474(r=0.9256)$ 。此外,1999 年大样本的分析结果也可以明显地看到,土壤有效 Si 含量与水稻植株含 Si 量的这种关系(见表 2)。

从表 2 的数据可以看出,除了夹沙土上的稻株含 Si 量平均值偏离正常趋势,黄潮泥上的水稻植株样品太少无法统计以外,其他样品水稻植株的含 Si 量基本上随土壤有效 Si 含量的增加而提高。这说明了在上海地区土壤有效 Si 是决定水稻植株中 SiO_2 积累的一个主要的因素^[4]。

2.2 上海地区水稻 Si 素营养的现状

2.2.1 水稻植株的含 Si 量 水稻植株的含 Si 量是判断水稻 Si 营养水平的一项重要指标,在不同的研究中对水稻植株的含 Si 量都采用了比较一致的标准:即当水稻植株中 SiO_2 含量 $<11\%$ 时为缺 Si,施用 Si 肥预期效果显著;水稻植株中的 SiO_2 含量在 $11\% \sim 13\%$ 时为中等水平,施用 Si 肥预期有效;当水稻植株中的 SiO_2 含量 $>13\%$ 时为丰富,施用 Si 肥预期无效。表 4 是本市 6 个县(区)70 个水稻植株样品含 Si 量的分析结果。从

中可看,上海地区水稻植株含 Si 量的平均值在 $7\% \sim 9\%$ 之间。根据上列标准判断,上海地区水稻自身的 SiO_2 含量并没有达到丰富的水平。

2.2.2 水稻 Si 营养与 N、K 营养代谢的协调 水稻植株体内的 Si/N、Si/K 值是水稻 Si 营养与 N、K 营养保持平衡的一种指标,与保持水稻的高产、稳产有关,还影响水稻抵抗病虫害、抗倒伏、抗旱等抗逆性与稻米质量的提高。有关研究认为^[5],水稻达到高产时水稻植株的 SiO_2/N 值宜保持在 11 左右, $\text{SiO}_2/\text{K}_2\text{O}$ 值在 7.4 附近。从表 4 可以看到,上海地区水稻植株的 SiO_2/N 值有 2 个县(区)超过了 11,其他县(区)都在 11 以下。 $\text{SiO}_2/\text{K}_2\text{O}$ 值则基本处在 4.5 左右的范围。这表明大多数县(区)水

表 3 土壤有效 Si 硅的剖面分布

土壤类型	剖面位置	层次	深度 (cm)	有效 Si 含量 (mg/kg)
黄泥	浦东黄楼镇	A	0 ~ 11	429
		P	11 ~ 18	456
		W	18 ~ 23	490
黄泥土	奉贤头桥镇	A	0 ~ 12	391
		P	12 ~ 22	389
		W ₁	22 ~ 40	434
		W ₂	40 ~ 80	434
		B	80 ~ 100	393

表 4 上海地区水稻植株的含 Si 量及 SiO_2/N 、 $\text{SiO}_2/\text{K}_2\text{O}$ 值

县(区)	样品数	SiO_2 (%)	N (%)	SiO_2/N	K_2O (%)	$\text{SiO}_2/\text{K}_2\text{O}$
奉贤	13	8.57	0.712	12.0	1.91	4.49
嘉定	10	8.69	0.674	14.4	1.87	4.64
浦东	16	8.65	0.815	10.6	1.90	4.55
崇明	14	7.47	0.728	10.3	1.57	4.76
宝山	9	7.78	0.818	9.51	1.70	4.58
青浦	8	7.56	0.989	7.64	1.72	4.40

表 5 水稻施 Si 以后稻株的含 Si 量与产量的变化趋势

试验地点	水稻植株中 SiO_2 (%)			施 Si 后稻谷产量增加 (%)
	对照区	施 Si 区	增长率 (%)	
金山枫围	4.05	4.41	8.9	3.08
奉贤新寺	5.07	5.59	10.3	9.40
松江新桥	4.85	4.88	0.6	4.56
青浦香花	4.61	4.93	6.9	3.58
闵行马桥	6.27	6.94	10.7	4.41

稻的 N、K 和 Si 营养之间也没有实现充分协调。在当前农业生产中 N 肥用量居高不下的情况下,适当施 Si 以提高水稻植株的含 Si 量,调整水稻的 Si/N 值、Si/K 值对增强水稻的抗逆性能,实现保优栽培是有利的。

2.2.3 水稻施 Si 以后植株的含 Si 量与产量的变化趋势 从表 5 的结果可以看出,水稻施用 Si 肥以后,植株的含 Si 量都有所增加,而稻谷产量与水稻植株含 Si 量增加的趋势大体一致。这也反映了上海地区水稻的 Si 营养存在一个可以提高的空间,适当补充 Si 养分有益而无害。

2.3.2 施用 Si 肥对水稻产量结构的影响 1998 年 8 个县(区)Si 肥小区试验中,水稻穗粒结构的调查结果表明(表 6),施用 Si 肥能使水稻的有效穗数增加,水稻的每穗实粒数比对照增加,但对千粒重没有产生明显的影响。另外, Si 肥对水稻穗粒结构的影响在 1999 年的 Si 肥用量试验和 Si 肥示范试验中也表现出相同的趋势(表 7)。从以上试验数据可以看出,在上海地区施用 Si 肥对水稻的增产作用主要是,促使水稻有效穗数和实粒数增加来实现的。

表 6 施用 Si 肥对水稻穗粒结构的影响

试验地点	有效穗(万/667m ²)			每穗实粒数(粒)			千粒重(g)		
	CK	施 Si 区	增长率 (%)	CK	施 Si 区	增长率 (%)	CK	施 Si 区	增长率 (%)
金山枫围	27.62	26.91	-2.6	69.6	72.6	4.31	25.03	24.99	-0.16
奉贤新寺	26.95	28.12	4.34	75.3	77.8	3.32	25.22	25.13	-0.36
松江新桥	32.1	33.3	3.74	86.2	89.4	3.71	26.8	26	-2.99
青浦香花	28.1	29.3	4.27	70.3	71.5	1.71	28.0	28.35	1.25
浦东顾路	24.01	24.39	1.58	94.83	101.93	7.49	23.18	24.03	3.67
崇明大兴	35.92	40.79	13.56	80.5	75.28	-6.48	23.34	22.66	2.91
宝山月浦	25.33	25.76	1.7	80.84	82.85	2.49	27.3	27.17	-0.48
闵行马桥	28.16	28.08	-0.28	72.42	73.31	1.23	27.09	27.78	2.55
平均值			3.92			2.22			0.071

表 7 Si 肥示范试验中的水稻产量结构

试验地点	有效穗 (万/667m ²)			实粒数 (粒/穗)			千粒重(g)		
	对照区	Si 肥区	增加 (%)	对照区	Si 肥区	增加 (%)	对照区	Si 肥区	增加 (%)
奉贤金汇	19.7	19.5	--1.0	90.4	94.2	4.2	28.0	28.7	2.5
崇明新民	19.2	20.8	8.3	107.7	110.3	2.4	25.0	25.0	0.0
嘉定华亭	23.2	26.7	15.1	82.9	75.4	-9.0	27.8	28.7	3.2
宝山横沙	30.0	30.0	0.0	62.1	69.0	11.1	27.0	27.0	0.0
宝山罗店	23.4	23.7	1.2	96.1	103.2	7.4	26.1	26.2	0.3
平 均			4.7			3.2			1.2

2.3.3 水稻施用 Si 肥的增产效果 表 8 结果表明,水稻每 hm² 施 750kg 水渣 Si 肥普遍表现出增产的趋势。其中,奉贤增产幅度为 7.29%~8.46%,青浦为 3.06%~3.6%,闵行为 4.14%~5.3%;松江和金山为 3.08%~4.56%,平均增产幅度为 5.1%。其中奉贤的 2 个试验点增产幅度达到了显著水平,其他试验点未达到显著增产程度,同时,表 9 结果亦表明,奉贤、崇明、宝山和嘉定 4 个示范点水稻施 Si 肥后的平均增产幅度达到了 7.9%。水稻 Si 肥示范试验的增产结果用测验进行统计,达到了显著增产水平。此外,从表 10 的结果又可知,水稻施 Si 后,

其增产幅度的高低与土壤自身含 Si 量的高低有关。如奉贤光明、金汇、嘉定华亭、闵行马桥的沟干泥和松江青紫泥有效 Si 含量在 320 ~ 420mg/kg, 施 Si 后水稻的增产幅度 < 8%; 又如崇明新民、奉贤新寺和宝山横沙的黄夹沙、沟干泥和夹沙泥有效 Si 含量在 110 ~ 300mg/kg, 施 Si 后水稻的增产幅度 > 8%。

表 8 1998 年水稻 Si 肥小区试验的增产效果

试验地点	试验号	产量(kg / 667m ²)		
		对照区	Si 肥区	增长率(%)
金山枫围	1	455	469	3.08
奉贤新寺	2	507.3	555.02	8.46
奉贤光明	3	508.6	548.9	7.92
松江新桥	4	596.8	624.0	4.56
青浦香花	5	553.1	572.9	3.6
青浦香花	6	542.3	558.9	3.06
闵行马桥	7	524.2	552.0	5.3
闵行马桥	8	516.5	537.9	4.14
平均		525.2	552.3	5.1

表 9 1999 年水稻 Si 肥示范试验增产效果

试验地点	产量(kg/667m ²)		
	CK	Si 肥区	增产率%
奉贤金汇	497.0	525.8	5.8
崇明新民	521.5	588.5	12.8
嘉定华亭	521.2	545.7	4.7
宝山横沙	459.0	497.5	8.4
平均	499.7	539.2	7.9

2.3.4 施用 Si 肥对水稻吸收 P 的影响

Si 对水稻吸收 P 的影响以前也有研究, 在不同的地区和不同的土壤条件下表现出不同的效果, 在 1998 年的 Si 肥小区试验中表现出上海地区施用 Si 肥能明显促进水稻对 P 的吸收。表 11 结果表明, 施 Si 区水稻植株体中的 P 含量比对照区水稻植株体中的 P 含量有不同程度的提高, 平均增长 12.5%。其中, 奉贤新寺和闵行马桥施 Si 区水稻植株体中的 P 含量比对照区减少 3.0% 和 1.3%。其它试验区施 Si 水稻植株体中的 P 含量增长幅度在 1.0% ~ 28.1% 范围之间。

表 10 水稻施用 Si 肥的增产效果与土壤有效 Si 的关系

试验地点	土壤类型	土壤有效 Si 含量	施 Si 后稻谷增长率
		(mg/kg)	(%)
崇明新民	黄夹沙	112	12.8
奉贤新寺	沟干泥	291	9.4
宝山横沙	夹沙泥	252	8.4
奉贤光明	沟干泥	322	7.9
奉贤金汇	沟干泥	355	5.8
嘉定华亭	沟干泥	355.2	4.7
松江新桥	青紫泥	321	4.6
闵行马桥	沟干泥	420	4.1

表 11 施用 Si 肥以后水稻植株体内 P 含量的变化

试验地点	水稻植株含 P 量(P%)		
	CK	Si 肥区	增长率(%)
金山枫围	0.512	0.516	9.6
奉贤新寺	0.344	0.334	-3.0
松江新桥	0.454	0.566	24.7
青浦香花	0.313	0.401	28.1
浦东顾路	0.235	0.283	20.6
崇明大兴	0.195	0.234	19.9
宝山月浦	0.296	0.299	1.0
闵行马桥	0.310	0.306	-1.3
平均值			12.5

参 考 文 献

- 1 中国土壤学会农业化学专业委员会编. 土壤农业化学常规分析法. 北京: 科学出版社, 1983, 274 ~ 288
- 2 中国医学科学院卫生研究所编. 水质分析法. 北京: 人民卫生出版社, 1973, 103 ~ 104
- 3 刘鸣达, 张玉龙. 水稻土硅素肥力的研究现状与展望. 土壤通报, 2001, 32(4): 189
- 4 汪传炳, 茅国芳等. 上海地区水稻硅素营养状况及硅肥效应. 上海农业学报, 1999, 15(3): 65 ~ 69
- 5 秦遂初, 马国瑞. 植物营养与合理施肥. 见: 孙毓主编. 土壤养分. 北京: 农业出版社, 1983, 152 ~ 160