

硅肥与基本苗配置对水稻生长发育、产量及品质的影响

任海, 付立东*, 王宇, 吕小红, 李旭, 隋鑫, 杜萌, 马畅

(辽宁省盐碱地利用研究所, 辽宁 盘锦 124010)

摘要: 以优质水稻品种盐丰 47 为供试材料进行田间试验, 采用小区对比方法, 设施肥量 (7 个) 和移栽基本苗两因素, 共 14 个处理, 研究了硅钙肥和液态硅两种硅肥与基本苗配置对水稻生长发育、产量及品质的影响。结果表明, 施用两种硅肥都能使水稻分蘖数增加, 提高成穗率, 增加产量, 增强抗倒伏及抗病能力, 改善稻米品质, 使稻米的垩白度、垩白粒率降低的同时, 提高稻米的糙米率、精米率、整精率。其中在基本苗 64.5×10^4 株/hm² 中, C5-1 喷施处理 (基本苗 64.5 万株/hm² 条件下, 拔节期、抽穗期各喷施 450 mL/hm²) 产量最高, 为 10 893.0 kg/hm²。

关键词: 水稻; 硅肥; 生长发育; 产量; 品质

水稻是人类重要的粮食作物^[1], 是典型的喜硅作物, 水稻施硅可以使水稻增强自身的抗虫、抗倒、抗旱性能, 可以限制重金属导致的影响^[2]。近年来, 人们使用的氮肥愈来愈多, 秸秆还田量愈来愈少, 加速了土壤中硅元素的流失^[3]。20 世纪 20 年代中期, Sommer 经过研究后得知, 硅可以促进水稻的生长和发育^[4]。日本自 20 世纪 50 年代开始不断研究硅肥对水稻的影响, 通过试验证实, 硅肥可以显著增加水稻产量, 并确定了硅对水稻生长发育的作用, 把硅视之为水稻四元素 (氮磷钾硅) 中的重要元素^[5]。在基本苗配置方面, 丁颖^[6]提出了合理和密集的种植观点, 随后详细系统调查了水稻的种群结构。80 年代, 蒋彭炎等^[7]提出, 高产栽培方式应该“稀释”基本苗, 肥料应该“低”。在提出“基本苗计算公式”后, 凌启鸿^[8]提出了“扩行、控苗”的方法, 以达到优质群的质量。本研究希望通过验证两种硅肥在盐碱稻区的施用效果, 探索硅肥与基本苗配置的施用技术, 开展硅肥与基本苗配置对水稻生长发育、产量及品质的影响试验, 以提高水稻肥料的使用效率, 进而增加水稻产量, 增强我国粮食安全, 并为今后的生产提供指导

依据。

1 材料与方法

1.1 试验地点

试验于 2017 年在辽宁省盐碱地利用研究所试验基地进行, 供试土壤类型为滨海盐渍型水稻土, 其耕层土壤 (0 ~ 15 cm) 含有机质 25.72 g/kg、全氮 1.13 g/kg、碱解氮 109.74 mg/kg、有效磷 10.50 mg/kg、速效钾 157.83 mg/kg、全盐 2.24 g/kg, pH 值 7.51。

1.2 供试品种

选择盐丰 47 为供试品种, 全生育期为 156 ~ 160 d, 15.5 ~ 16.0 片叶, 5 个伸长节间。

1.3 供试肥料

水稻缓释复混肥 (N 28%、P₂O₅ 18%、K₂O 8%); 尿素 (N 46%); 硅钙肥: SiO₂ ≥ 15% ~ 20%, CaO ≥ 25%, 水分 ≤ 10%, pH 值 8.0 ~ 10.0; 液态硅: Si ≥ 120 g/L, K₂O ≥ 120 g/L, pH 值 9.5 ~ 11.0。

1.4 试验设计

试验设施肥量 (7 个) 和移栽基本苗 (64.5、84 万株/hm²) 两因素, 共 14 个处理, 各处理按常规生产施入氮肥 270 kg/hm²、磷肥 105 kg/hm²、钾肥 90 kg/hm²。氮肥分为基肥 50% ~ 65%、蘖肥 (一、二次蘖肥比例 6:4) 25% ~ 35%、穗肥 10% ~ 15%。小区长 9.4 m、宽 7 m, 面积 65.8 m², 3 次重复, 完全随机排列, 于 4 月 12 日播种, 5 月下旬移栽, 病虫害防治与大田管理一致。各处理硅肥施入量见表 1。

收稿日期: 2018-03-26; 录用日期: 2018-07-22

基金项目: 辽宁春玉米粳稻密植抗逆丰产增效关键技术与示范 (2017YFD0300700); 国家重点研发计划 (2018YFD0300300)。

作者简介: 任海 (1984-), 男, 辽宁盘锦人, 大学本科, 助理研究员, 主要从事水稻栽培及盐碱地改良研究。E-mail: 61657137@qq.com。

通讯作者: 付立东, E-mail: fld1341@126.com。

表 1 硅肥施入量

处理	基本苗 (万株/hm ²)	基施 (kg/hm ²)	喷施 (mL/hm ²)		
			苗期	拔节期	抽穗期
C1	84	900			
C2	84	1 350			
C3	84	1 800			
C4	84		450		
C5	84			450	450
C6	84		450	450	450
CK	84				
C1-1	64.5	900			
C2-1	64.5	1 350			
C3-1	64.5	1 800			
C4-1	64.5		450		
C5-1	64.5			450	450
C6-1	64.5		450	450	450
CK-1	64.5				

1.5 调查项目

秧苗素质：移栽之前在不同的处理区通过随机的方式对秧苗株高、叶龄、鲜重、干重和茎基部宽等水稻植株性状进行调查。

茎蘖动态：在每一小区固定种植 10 穴，在分蘖开始，6 ~ 7 d 进行一次茎蘖数调查，通过普查方式调查 N-n 期（有效分蘖临界期）、拔节期、齐穗期、成熟期。

叶绿素：通过 SPAD-520 叶绿素仪，分别于 N-n 期、拔节期、齐穗期、乳熟期、腊熟期、黄熟期进行测定。

干物重、收获指数：在每个小区取出 1 到 2 穴较典型的齐穗期、成熟期植株（对 10 穴进行调查之后选择其中 1 到 2 穴），对群体干物重进行测试和确定，进入成熟期后，对谷粒以及茎秆干物重进行测试和确定。收获指数，即成熟期的籽粒干重和籽粒、茎秆干重（具体包含水稻植株地上部分的穗轴、茎叶和叶鞘）的商。

病害调查：调查各处理的出穗期、成熟期。在成熟期时，对稻瘟病、纹枯病带来的危害状况进行调查。

计算方法：
植株发病率 = (染病指数 / 调查总株数) × 100%
植株病情指数 = Σ (各级病株数 × 相应级数) / 调查总株数 × 最高级别值 × 100%

抗倒伏：收获期在小区取 5 穴，每穴选择 2 个具有代表性的茎，以瀨古秀生^[9]的方法为指导，算出不同品种的不同节间的折抗力、弯曲力矩以及倒伏指数，参考 Seko^[10] 和马均等^[11]的方法测定茎秆抗折力。

倒伏指数 = 弯曲力矩 (cm · g) / 抗折力 (g) × 100

水稻外观品质：依据 GB1354 粳稻标准用仪器 JMWT12 进行测试，选取 10 ~ 15 g 精米，置于扫描仪底板，用嵌入板使精米粒均匀分布，然后选择大米测定选项进行外观品质的扫描与测定。

水稻蒸煮品质：首先对盛放稻米的铝罐进行称重，选择重量差异不大的 30 g 铝罐进行试验。稻米准备：加水冲洗 30 s，水浸没稻米计时 30 min，加水至米重 1.33 倍，记下总重。稳压器设置 110 V。每蒸煮一批样品设置一个对照。蒸煮时间设置 30 min，完毕关机持续 10 min，室温放置 2 h 进行测试。试验前应进行黑板板校正，样品称取 8 g，压实后上机测试。

产量组成及实际产量：在成熟期时，每个小区选取 5 穴具有一定代表性的植株（对 10 穴进行调查后选择其中 5 穴），实施室内考种，对每穴平均株数、高度以及穗长、穗粒数、千粒重、结实率进行调查。去边行及调查采样行后收获脱谷记实产。

2 结果与分析

2.1 不同硅肥施入量对水稻茎蘖的影响

表 2 显示，拔节期、齐穗期各处理与对照差异显著。N-n 期、拔节期、齐穗期的单位面积茎蘖数及成熟期收获穗数随着硅肥的施入量而有所变化，在基本苗 64.5 万株 /hm² 条件下，C6 处理（450 mL/hm² 喷施）成熟期收获的水稻总穗数 361.5 万株 /hm²，比基施条件下 C3 处理（1 800 kg/hm² 基施）349.5 万株 /hm² 增加 3.4%。C6、C3 处理分别比 CK 增加了 3.9%、0.4%。在基本苗 84 万株 /hm² 条件下 C3-1（1 800 kg/hm² 基施）、C6-1（450 mL/hm² 喷施）处理成熟期收获的水稻总穗数（349.5 万株 /hm²）比 CK-1 增加 1.7%。基本苗 84 万株 /hm² 条件下，3 次喷施硅肥的处理成熟期茎蘖数均高于基施硅肥，随着喷施硅肥的次数越多，茎蘖数越高。基本苗 64.5 万株 /hm² 条件下，喷施硅肥成熟期茎蘖数普遍高于基施硅肥的处理与对照。

表 2 不同硅肥施入量对水稻茎蘖的影响

处理	移栽期 (万株 /hm ²)	N-n 期 (万株 /hm ²)	拔节期 (万株 /hm ²)	齐穗期 (万株 /hm ²)	成熟期 (万株 /hm ²)	成穗率 (%)
CK	96.30a	430.20h	502.50d	374.70k	348.00bc	69.1d
C1	97.20a	412.80j	480.00h	364.35l	346.50bc	72.3b
C2	97.35a	432.15g	498.90e	360.00m	349.50b	69.9c
C3	97.20a	537.60a	496.20e	423.90b	345.00bc	69.5cd
C4	97.35a	465.30c	485.55g	411.30c	349.50b	71.9b
C5	97.05a	462.45d	512.25c	392.40f	358.50a	70.0c
C6	96.30a	473.70b	489.30f	382.80j	361.50a	73.9a
CK-1	88.35a	461.10e	552.75a	425.70a	343.50c	62.2h
C1-1	87.45a	431.10gh	509.85c	386.25i	337.50d	66.1e
C2-1	87.45a	431.40g	524.70b	402.45e	336.00d	63.9f
C3-1	87.15a	360.90k	498.75e	389.85g	349.50b	70.0c
C4-1	88.35a	417.90i	552.75a	403.65d	345.00bc	62.3h
C5-1	88.05a	417.00i	481.80h	387.45h	346.50bc	72.0b
C6-1	87.30a	433.35f	555.15a	392.85f	349.50b	63.1g

注：表中小写字母表示 5% 水平上的差异显著性，下同。

2.2 不同硅肥施入量对水稻叶面积指数的影响

以提升水稻群体结实期的光合积累量为目的，它的生理基础为叶面积指数（LAI）。根据叶面积指数调查结果（表 3）表明：施硅处理的最大 LAI 和高效 LAI 均比对照高，这意味着硅肥可以显著促进

水稻的生长发育。水稻群体功能叶片越多，可实施光合作用的功能叶片愈多，植株光合作用就愈强，光能利用率就愈高，这使得水稻增产有了更多的可能^[8]。

表 3 不同硅肥施入量对水稻叶面积指数的影响

处理	移栽期 LAI	分蘖期 LAI	拔节期 LAI	齐穗期					
				高效 LAI	低效 LAI	无效 LAI	LAI	高效叶面积率 (%)	有效叶面积率 (%)
CK	0.2a	1.66hi	5.27cd	4.24d	2.90b	0.12fg	7.26c	58.40e	98.35c
C1	0.2a	2.18f	4.31fg	5.19a	2.36f	0.14f	7.69b	67.49a	98.18d
C2	0.2a	1.70h	5.95b	4.85b	2.98a	0.12fg	7.95a	61.01b	98.49c
C3	0.2a	2.23e	4.07g	4.67c	2.97a	0.09h	7.73b	60.41c	98.84a
C4	0.17a	1.69h	5.28cd	4.29d	2.64c	0.34b	7.27c	59.01d	95.32i
C5	0.17a	1.69h	4.87de	4.25d	2.89b	0.21d	7.35c	57.82fg	97.14f
C6	0.17a	1.64i	4.52ef	4.62c	2.92b	0.10gh	7.64b	60.47c	98.69b
CK-1	0.19a	1.92g	5.57bc	3.17h	2.54de	0.17e	5.88f	53.91i	97.11f
C1-1	0.19a	1.67hi	4.89de	3.71f	2.67c	0.21d	6.59e	56.30h	96.81g
C2-1	0.19a	2.93a	5.48c	3.85e	2.36f	0.17e	6.38d	60.34c	97.34e
C3-1	0.19a	2.65c	7.30a	3.74f	2.56d	0.20d	6.50d	57.54g	96.92g
C4-1	0.18a	2.54d	5.93b	3.48g	2.31g	0.17e	5.96f	58.39e	97.15f
C5-1	0.18a	1.69h	5.36c	4.67c	2.57d	0.66a	7.90a	59.11d	91.65j
C6-1	0.18a	2.76b	3.91g	3.82e	2.50e	0.24c	6.56d	58.23ef	96.34h

2.3 不同硅肥施入量对水稻叶绿素的影响

在不同的生育期，水稻叶片的叶绿素含量也不同，随着水稻的生长，叶绿素含量会持续降低。由表 4 可知，在基本苗 84 万株 /hm² 条件下施入硅肥的各个处理，在各个时期的叶绿素含量均高于 CK。

N-n 期、拔节期、齐穗期调查，经硅肥处理的倒二叶叶片的叶绿素平均含量分别较 CK 增加了 12.5%、3.6%、5.2%，经硅肥处理的倒三叶叶片及腊熟期剑叶叶片的叶绿素平均含量分别较 CK 增加了 6.8%、4.6%、7.0%、33.1%。在基本苗 64.5 万株 /hm²

条件下施入硅肥的各个处理, 在各个时期的叶绿素含量均高于 CK。N-n 期、拔节期、齐穗期调查, 经硅肥处理的倒二叶叶片的叶绿素平均含量分别较 CK 增加了 2.2%、5.3%、9.0%, 经硅肥处理的倒三

叶叶片及腊熟期剑叶叶片的叶绿素平均含量分别较 CK 增加了 4.7%、6.9%、8.0%、37.5%。可知, 对水稻施加硅肥能使叶绿素的含量得到显著提升, 为积累更多光合产物奠定基础。

表 4 不同硅肥施入量对水稻叶绿素的影响

处理	N-n 期		拔节期		齐穗期		腊熟期
	倒二叶	倒三叶	倒二叶	倒三叶	倒二叶	倒三叶	剑叶
CK	42.28i	47.31j	40.02g	43.03i	41.12e	39.24f	14.73j
C1	46.45e	49.66efgh	41.83d	43.53gh	41.69e	42.76c	19.26e
C2	44.02h	47.71j	41.2e	43.93fg	44.56b	42.69c	17.71g
C3	51.41a	54.92a	38.81h	43.19hi	43.45c	42.36cd	19.1e
C4	46.16ef	49gh	45.18a	47.21b	46a	40.61e	24.06a
C5	48.04cd	50def	41.25e	45.3e	42.63d	41.9d	21.73c
C6	49.3b	51.75c	40.58f	46.79bc	41.31e	41.63d	15.75i
CK-1	45.58g	47.98ij	40.46fg	43.08hi	40.08f	39.93ef	14.89j
C1-1	45.83fg	50.81cd	44.04b	46.67c	44.44b	42.88c	21.7c
C2-1	46.2ef	48.72hi	42.07cd	45.92d	44.08b	44.66a	20.99d
C3-1	45.89fg	49.81efg	40.36fg	44.17g	43.23c	41.67d	18.19f
C4-1	47.64d	50.19de	44.53b	48.2a	45.98a	42.99bc	23.61b
C5-1	45.67g	49.07fgh	42.19cd	45.59de	42.89cd	42.82c	16.7h
C6-1	48.21c	52.76b	42.48c	45.68de	41.39e	43.69b	21.61c

2.4 不同硅肥施入量对水稻稻瘟病、纹枯病的影响

根据表 5 可知, 病情指数数据显示, CK (基本苗 84 万株/hm²) 的植株发病率为 9.4%, 比 C1、C2、C3、C4、C5、C6 处理分别增加了 5.1、7.9、1.6、7.1、3.1、6.9 个百分点。CK 处理的发病指数为 20.8%, 对比 C1、C2、C3、C4、C5、C6 处理分别增加了 17.6、19.7、15、18.5、16.9、18.9 个百分点。CK-1 (基本苗 64.5 万株/hm²) 的植株发病率为 11.5%,

比 C1-1、C2-1、C3-1、C4-1、C5-1、C6-1 处理分别增加了 4.9、9.5、2.6、7.1、4、4.8 个百分点。CK-1 处理的发病指数为 12.1%, 比 C1-1、C2-1、C3-1、C4-1、C5-1、C6-1 处理分别增加了 7.6、10.1、7.5、10.3、7.9、6.5 个百分点。除 CK、CK-1, 其余处理的发病指数均比较小, 且比较接近, 这意味着适度使用硅肥可以增强水稻抗病能力, 抑制纹枯病和稻瘟病的侵染, 从而降低水稻病害损失。

表 5 不同硅肥施入量对水稻稻瘟病、纹枯病的影响

处理	总株数 (个)	病株 (个)	纹枯病			稻瘟病			植株发病率 (%)	发病指数 (%)
			一级	二级	三级	一级	二级	三级		
CK	96	9	1		4	2	1	1	9.4	20.8
C1	93	4	2	2					4.3	3.2
C2	66	1						1	1.5	1.1
C3	103	8	1	4	3				7.8	5.8
C4	86	2		2					2.3	2.3
C5	95	6	3	1	2				6.3	3.9
C6	80	2	1	1					2.5	1.9
CK-1	87	10	4	1	2			3	11.5	12.1
C1-1	121	8	5	3					6.6	4.5
C2-1	101	2	2						2.0	2.0
C3-1	101	9	4	5					8.9	4.6
C4-1	114	5	2	1	1			1	4.4	1.8
C5-1	80	6	2	4					7.5	4.2
C6-1	90	6	2	4					6.7	5.6

2.5 不同硅肥施入量对水稻干物质积累量的影响

根据表 6 可知, 不同施肥量对水稻干物质积累量不同, 其中在基本苗 84 万株 /hm² 中单位面积干物质积累以处理 C6 (18 547.35 kg/hm²) 最多, 比 C1、C2、C3、C4、C5、CK 分别高 2.8%、2.1%、2.2%、11.0%、8.8%、1.6%。收获指数以 C5 处理最高, 为 0.603, 比 C1、C2、C3、C4、C6、CK 分别高 6.9%、8.8%、7.7%、

1.9%、9.4%、13.6%。在基本苗 64.5 万株 /hm² 中单位面积干物质积累以处理 C5-1 (19 511.40 kg/hm²) 最多, 比 C1-1、C2-1、C3-1、C4-1、C6-1、CK-1 分别高 11.3%、5.7%、13%、8.7%、0.6%、14.9%, 收获指数以 C1-1 处理最高, 为 0.570, 比 C2-1、C3-1、C4-1、C5-1、C6-1、CK-1 分别高 6.3%、0.5%、0.7%、2.2%、4.4%、1.6%。

表 6 不同硅肥施入量对水稻干物质积累量的影响

处理	移栽期 (kg/hm ²)	拔节期 (kg/hm ²)	齐穗期 (kg/hm ²)	成熟期 (kg/hm ²)	齐穗后干物质积累量 占籽粒产量百分比 (%)	收获指数
CK	16.95b	4 276.20d	10 593.75c	18 253.50c	72.42abcd	0.531i
C1	16.95b	4 032.60ef	10 083.75fg	18 037.80de	71.74bcde	0.564cde
C2	16.95b	4 212.30d	10 233.75de	18 169.50cd	73.35abcd	0.554fgh
C3	16.95b	5 050.65b	10 293.75d	18 145.50cd	72.80abc	0.560def
C4	18.15a	5 330.40a	9 183.75i	16 713.90i	71.57cde	0.592b
C5	18.15a	4 715.25c	9 078.00i	17 053.35h	70.84de	0.603a
C6	18.15a	3 347.10h	10 668.75c	18 547.35b	71.70bcde	0.551gh
CK-1	13.20d	3 790.80g	9 828.75h	16 984.35h	70.90de	0.561def
C1-1	13.20d	3 870.45fg	9 984.30g	17 523.45f	72.13abcd	0.570c
C2-1	13.20d	5 308.20a	10 987.80a	18 458.85b	70.18e	0.536i
C3-1	13.20d	4 102.95de	10 134.30ef	17 270.85g	70.98de	0.567cd
C4-1	14.10c	4 701.45c	10 141.80ef	17 941.80e	71.82bcde	0.566cde
C5-1	14.10c	3 719.40g	10 578.00c	19 511.40a	73.73a	0.558efg
C6-1	14.10c	2 857.05i	10 818.75b	19 391.25a	72.92abc	0.546h

2.6 不同硅肥施入量对水稻茎秆倒伏指数及茎基宽的影响

2.6.1 不同硅肥施入量对水稻茎秆倒伏指数的影响

根据图 1 可知, 水稻茎秆从基部向上各个节间茎基宽逐渐增大, 无论是喷施还是基施硅肥均会促进茎秆的粗壮, 增加茎秆抗性, 从试验结果看, 倒伏因素主要集中在倒 3、倒 4 节间上, 在基本苗 84 万株 /hm² 下, C2 (硅钙肥 1 350 kg/hm² 基施, 每穴 4 ~ 5 本株) 处理倒伏指数最小, C3 (硅钙肥 1 800 kg/hm² 基施, 每穴 4 ~ 5 本株) 处理倒伏指数最大, C3 与 CK、C1、C2、C4、C5、C6 处理在倒 3、倒 4 节间上差异达到显著水平, C5、C6、CK 处理之间差异不显著。说明随着基本苗、施硅量的增加, 倒伏指数也随之增加, 未必硅肥施用越多, 抗倒伏性就越好, 过量施用硅肥反而导致倒伏指数增加, 在基本苗 64 万株 /hm² 下, C2-1 (硅钙肥 1 350 kg/hm² 基施, 每穴 3 ~ 4 本

株) 处理倒伏指数最小, C4-1 (海藻液硅每次 450 mL/hm², 于 2.5 叶期, 稀释 1 000 倍喷施, 每穴 3 ~ 4 本株) 处理倒伏指数增大, C2-1 与各处理所有节间达到显著水平, C5-1、C6-1、CK-1 之间差异不显著, 说明苗期植株对硅的吸收, 没有拔节期、孕穗期喷施效果好。硅肥施用量与密度的合理配置对水稻茎秆基部伸长节茎粗达到显著水平, 硅肥能够增加水稻茎秆粗度, 降低水稻的倒伏指数。

2.6.2 不同硅肥施入量对水稻茎基宽的影响

由表 7 可知, 各处理的株高, 随着硅肥的施入量增加而减少。随着 SiO₂ 施入量的增加呈增加趋势。水稻茎基部向上各个节间茎基宽慢慢增加, 在基本苗 64.5 万株 /hm² 条件下依次为 CK-1<C5-1<C2-1<C3-1<4-1<C1-1<C6-1。在基本苗 84 万株 /hm² 条件下依次为 CK<C5<C2<C6<C1<C3<C4。施加适量的硅肥可以达到显著提升水稻茎秆基部伸长节茎粗的作用。

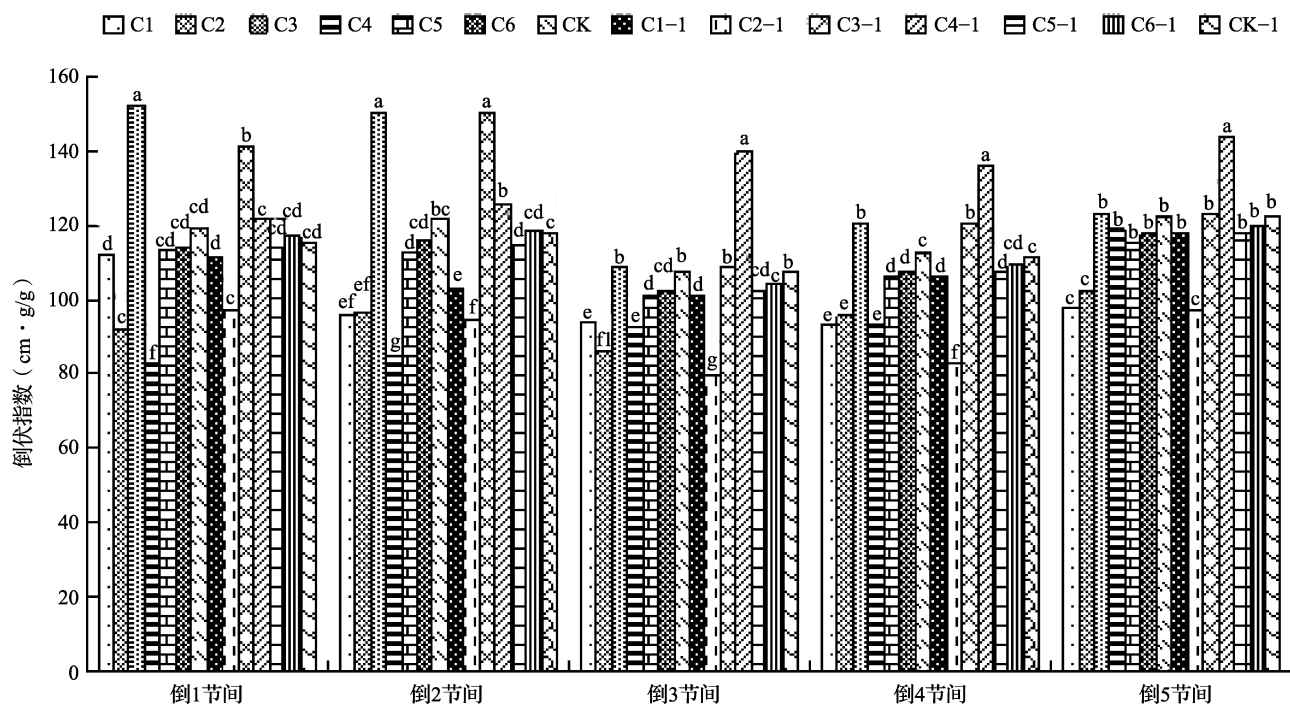


图1 不同硅肥施入量对水稻茎秆倒伏指数的影响

注：图中小写字母表示 5% 水平上的差异显著性。

表7 不同硅肥施入量对水稻茎基宽的影响 (cm)

处理	茎基宽				
	倒1节间	倒2节间	倒3节间	倒4节间	倒5节间
CK	2.66fg	4.16fg	4.32b	5.38b	5.02h
C1	2.99bc	4.37e	4.88ab	5.38b	5.56d
C2	2.56gh	4.33e	4.81ab	5.56b	5.28g
C3	3.11ab	4.62c	5.09ab	5.49b	5.75c
C4	2.82de	4.10gh	4.80ab	5.54b	5.77c
C5	2.82de	4.57cd	4.75ab	5.37b	5.08h
C6	2.77ef	4.03h	5.22ab	5.48b	5.43ef
CK-1	2.87cde	4.54cd	4.62ab	5.50b	5.38f
C1-1	2.84de	4.49d	5.25a	5.78ab	5.87b
C2-1	2.95cd	4.01h	4.99ab	5.62b	5.56d
C3-1	3.11ab	4.62c	5.09ab	5.49b	5.75c
C4-1	2.86cde	4.73b	5.17ab	5.57b	5.85b
C5-1	2.48h	4.22f	4.77ab	5.48b	5.48e
C6-1	3.23a	4.84a	5.45a	6.12a	6.53a

2.7 不同硅肥施入量对稻米外观品质的影响

由表8可知,不同硅肥施肥量不同,稻米外观品质受硅肥的作用和影响极大。施用硅肥能够提高稻米透明度,增加稻米的粒长、粒宽,对长宽比影响较小,其中C5处理与对照达到显著水平。各处理精白度都显著低于对照。施用硅肥对稻米的垩白度、垩白粒率都有明显改善效果,不同硅肥处理均显著低于对照。不同处理随着基本苗的增加对稻米的垩白度、垩白粒率影响较大,从表8可以看出,随着基本苗数的增加稻米的垩白度、垩白粒率呈上升趋势,说明基本苗能够提高稻米的垩白度,从而使外观品质变差,不同硅肥对稻米精白度无明显影响。

2.8 不同硅肥施入量对稻米加工品质的影响

由表9可知,随着硅肥施入量的增加,糙米率、精米率、整精米率有先升后降的趋势。施用硅肥对糙米率、精米率、整精米率都有所提高,各处理与对照差异显著,随着基本苗数增加对直链淀粉含量表现出上升的趋势,对整精米率影响较大,蛋白质含量、糙米率、精米率均表现出下降趋势。

表 8 不同硅肥施入量对稻米外观品质的影响

处理	粒长 (mm)	粒宽 (mm)	长宽比	垩白粒率 (%)	垩白度 (%)	精白度 (%)	透明度 (%)
CK	4.59cd	2.7d	1.70a	10.3a	14.2a	123cd	3.66g
C1	4.62abc	2.9b	1.59bc	8.5d	8.7c	118e	3.79ef
C2	4.60cd	3.0a	1.53c	6.8g	8.4de	130ab	3.72fg
C3	4.61bcd	3.0a	1.54c	5.8i	7.5f	130ab	3.88cde
C4	4.61bcd	3.0a	1.54c	6.4h	8.5cd	125cd	3.74fg
C5	4.71a	3.0a	1.57c	6.3h	7.6f	125cd	4.00ab
C6	4.63abc	3.0a	1.54c	5.2j	7.4fg	126bc	4.02ab
CK-1	4.59cd	2.8c	1.64ab	10.7b	13.9b	122cde	3.67g
C1-1	4.62abc	3.0a	1.54c	8.8c	8.5cd	131a	3.79ef
C2-1	4.61bcd	3.0a	1.54c	8.1e	8.2e	123cd	3.99abc
C3-1	4.70ab	3.0a	1.57c	7.2f	7.6f	123cd	4.08a
C4-1	4.52d	2.9b	1.56c	6.4h	8.4de	125cd	3.82def
C5-1	4.61bcd	3.0a	1.54c	6.4h	7.5f	121de	3.93bcd
C6-1	4.62abc	3.0a	1.54c	5.7i	7.2g	123cd	3.75fg

表 9 不同硅肥施入量对稻米加工品质的影响 (%)

处理	直链淀粉 含量	蛋白质 含量	糙米率	精米率	整精 米率
CK	18.7c	7.0c	78.78c	61.37f	56.3i
C1	19.5a	8.0a	82.91ab	67.60b	61.1h
C2	19.0bc	7.5abc	82.80ab	63.56e	62.0gh
C3	19.0bc	7.4abc	82.50ab	67.17b	61.4h
C4	19.1bc	7.4abc	83.65a	66.21c	63.3f
C5	19.1bc	7.5abc	83.70a	65.35d	62.7fg
C6	19.3bc	7.5abc	83.43a	65.07d	67.5cd
CK-1	18.8c	7.1bc	78.92c	61.75f	57.1i
C1-1	19.0bc	7.5abc	81.44b	63.55e	66.6d
C2-1	18.9bc	7.7ab	82.62ab	65.38d	68.2bc
C3-1	18.7bc	7.5abc	83.93a	67.75b	64.4e
C4-1	18.9abc	7.7ab	83.28ab	63.50e	67.3cd
C5-1	19.0abc	7.7ab	83.76a	67.47b	69.5a
C6-1	18.9ab	7.9a	83.81a	68.64a	69.2ab

2.9 不同硅肥施入量对水稻产量的影响

由表 10 可知, CK 和 CK-1 实际产量最低, 分别为 9 697.5 和 9 528.0 kg/hm², 其中在基本苗 64.5 万株 /hm² 和 84 万株 /hm² 中, 喷施处理 C5-1 产量最高为 10 893.0 kg/hm², 分别比 CK、CK-1、C4、C4-1、C5、C6、C6-1 增加 10.1%、5.9%、6.5%、12.3%、7.3%、2.9%、14.3%。在基本苗 64.5 万株 /hm² 和基本苗 84 万株 /hm² 中, 基施处理 C1 产量最高, 为 10 176.0 kg/hm², 分别比 CK、CK-1、C1-1、C2、C2-1、C3、C3-1 增加 1.1%、0.1%、4.9%、1.9%、2.8%、3.9%、6.8%。合理的基本苗配置对水稻生长发育及产量有着显著影响, 即 C5-1 处理海藻液硅每次 450 mL/hm², 于拔节期、抽穗期稀释 1 000 倍施入, 每穴 3 ~ 4 本株效果最好。虽然基本苗 84 万株 /hm² 产量显著低于基本苗 64.5 万株 /hm², 但多重比较结果表明, 不同基本苗配置及不同施肥方式均高于对照, 从表 10 也可以看出, 硅钙肥和海藻液硅对于水稻产量提高都有一定的效果, 但是海藻液硅效果更好。

表 10 不同硅肥施入量对水稻产量的影响

处理	株高 (cm)	穗长 (cm)	收获穗 (万穗/hm ²)	颖花量 (万朵/hm ²)	实粒数 (粒/穗)	结实率 (%)	千粒重 (g)	产量 (kg/hm ²)
C1	107.5c	16.2ef	346.5b	37 011.0j	105.5bc	98.8a	29.3a	10 176.0cde
C2	105.5ef	15.8gh	349.5b	38 115.0h	106.5de	96.8c	28.7bcd	10 062.0def
C3	106.5d	17.2ab	345.0bc	39 319.5f	108.2cd	96.2d	28.3de	10 167.0cde
C4	105.5ef	16.9bc	349.5b	37 846.5i	106.3de	96.9c	28.4cde	9 889.5fgh
C5	101.0h	16.0fg	358.5a	38 655.0g	107.2f	96.9c	28.9ab	10 287.0c
C6	105.0f	16.6cd	361.5a	38 790.0g	106.5de	98.4a	28.2e	10 228.5cd
CK	108.5b	15.8gh	348.0b	41 644.5b	110.0ab	95.5e	28.2e	9 697.5hi
C1-1	104.0g	16.6cd	337.5cd	39 498.0e	109.9e	96.8c	27.5f	9 990.0efg
C2-1	106.5d	16.0fg	336.0d	38 116.5h	107.2cd	94.9f	28.8bc	9 898.5fg
C3-1	101.5h	16.4de	349.5b	37 128.0j	108.0f	97.7b	28.4cde	9 790.5gh
C4-1	109.5a	16.5de	345.0bc	41 311.5c	109.2a	92.4g	28.0e	10 152.0cde
C5-1	105.5ef	17.3a	346.5b	41 400.0c	115.0de	95.8c	28.9ab	10 893.0a
C6-1	105.0f	17.1ab	349.5b	42 100.5a	119.6de	98.4a	26.9g	10 590.0b
CK-1	106.0de	15.5h	343.5bcd	40 717.5d	105.5cd	90.6h	27.2fg	9 528.0i

3 讨论与结论

近年来,中国水稻产量持续上升,土壤中的硅素供给及需求的矛盾越来越突出。硅肥已成为影响水稻产量的重要因素,对硅肥进行推广已成为紧迫的任务。随着人们生活水平的提高,对农产品的质量及安全性要求也越来越高,水稻生产从以往单纯追求高产的目标向高产、优质、高效、生态、安全的综合目标转变,人们不仅要求稻米品质好,还要求减少农药等化学投入品的用量,使稻米达到绿色、无公害、有机食品的要求,同时保护环境。

本研究结果表明,不同基本苗配置会对水稻生长发育及产量有一定的影响,基本苗过多会造成水稻群体生长量不足,群体优势的提高会相应降低个体优势,造成水稻通风透光不良,分蘖减少或不分蘖,合理的基本苗配置是保障水稻产量的重要因素。在基本苗、施肥量及施用方式均不同的情况下,两种硅肥都能使水稻分蘖数增加,提高成穗率,增加产量,还能缩短水稻基部节间长度,降低株高,增强抗倒伏及抗病能力,提高稻米品质,使稻米的垩白度、垩白粒率降低的同时,还能提高稻米的糙米率、精米率、整精率,增产效果显著,这和前人的研究结果一致^[12-18]。本研究只选取了在辽宁、京津地区大面积使用的水稻盐丰 47 作为研

究材料,对于揭示的硅对水稻生长发育及产量和稻米品质的影响是否适用于其他水稻品种,还需要深入研究。

参考文献:

- [1] 高尔明,赵全志,唐旭,等. 硅肥增产的生理效应研究[J]. 耕作与栽培,1998,(5): 20-28.
- [2] 李克仁,毛玲,史书仁,等. 硅肥对水稻生产的增产作用[J]. 作物杂志,2004,(5): 24-28.
- [3] 高玉凤,焦峰,沈巧梅. 水稻硅营养与硅肥应用效果研究[J]. 中国农学通报,2009,25(16): 156-160.
- [4] 商全玉,张文忠,韩亚东,等. 硅肥对北方粳稻产量和品质的影响[J]. 中国水稻科学,2009,23(6): 661-664.
- [5] 杨良金,唐宗伟,黄胜海,等. 水稻施用硅的增产效果[J]. 土壤,2001,(3): 166-167.
- [6] 丁颖. 中国水稻栽培学[M]. 北京:中国农业出版社,1961. 10-35.
- [7] 蒋彭炎,冯来定. 水稻稀少平栽培法理论与技术[M]. 杭州:浙江科技出版社,1989. 1-15.
- [8] 凌启鸿. 中国特色水稻栽培理论和技术体系的形成与发展——纪念陈永康诞辰一百周年[J]. 江苏农业学报,2008,24(2): 101-113.
- [9] 濂古秀生. 水稻の倒伏に関する研究[J]. 九州農業試験場彙報,1962,(7): 419-495.
- [10] Seko H. Studies on lodging in rice plants[J]. Journal of Kyushu Agricultural Experiment Station, 1962,(7): 419-495.
- [11] 马均,马文波,田彦华,等. 重穗型水稻植株抗倒伏能力的研究[J]. 作物学报,2004,30(2): 143-148.

- [12] 王文祥. 硅肥对稻田病虫害及水稻产量影响的试验[J]. 农家致富顾问, 2017, (14): 100.
- [13] 王浩, 杨宜生, 荀贤玉, 等. 硅肥不同施用方式对水稻增产效果比较试验研究[J]. 上海农业科技, 2017, (4): 111-113.
- [14] 翁颖, 张维玲, 陈国海, 等. 硅肥对水稻产量及养分吸收的影响[J]. 浙江农业科学, 2017, 58(8): 1312-1314.
- [15] 王庆锋, 李海军, 赵伟. 水稻应用硅肥对稻米品质影响的试验总结[J]. 现代化农业, 2017, (1): 47.
- [16] 鄢继伟, 齐晓磊, 黄琦. 水稻施用硅肥的效果研究进展[J]. 农技服务, 2016, 33(5): 98-99.
- [17] 李小为, 任学坤, 殷微微, 等. 白浆土型水稻土施硅肥对水稻产量及品质的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2008, (6): 67-69.
- [18] 陈刚, 罗志祥, 施伏芝, 等. 一种新型硅肥在两系杂交水稻上的增产效果研究[J]. 中国土壤与肥料, 2016, (2): 109-113.

Effects of silicon fertilizer and basic seedling distribution on growth, yield and quality of rice

REN Hai, FU Li-dong*, WANG Yu, LÜ Xiao-hong, LI Xu, SUI Xin, DU-Meng, MA Chang (Liaoning Institute of Saline-alkali Land Utilization, Liaoning Panjin 124010)

Abstract: The field experiments were conducted with Yanfeng 47, a high-quality rice variety, as the test material. The effects of silicon-calcium fertilizer and liquid silicon fertilizer on rice growth, yield and quality were studied by comparing plots, facility fertilizer (7) and transplanting basic seedlings with 14 treatments. The results showed that both silicon fertilizers could increase tiller number, panicle yield, yield, lodging resistance and disease resistance, improve rice quality, reduce chalkiness and chalky grain rate, and improve brown rice rate, milled rice rate and finishing rate. Among the 64.5×10^4 seedlings per hectare of the basic seedlings, the highest yield of C5-1 was 10 893.0 kg/hm².

Key words: rice; silicon fertilizer; growth; yield; quality