

不同硅肥施入模式对水稻产量及品质的影响

任海, 付立东*, 王宇, 吕小红, 杜萌

(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,研究了硅钙肥(基施)和冲施海藻液硅(喷施)两种不同硅肥施入量对水稻生长发育、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、增强抗倒伏及抗病能力,改善稻米品质。在喷施处理中C5处理产量最高为10 893 kg/hm²,基施处理中C1处理产量最高为10 176 kg/hm²,分别较对照增产14.3%、4.8%。

关键词:水稻;硅肥;生长发育;产量;品质

中图分类号:S511

文献标识码:A

文章编号:2096-5877(2019)04-0013-06

Effects of Different Silicon Fertilizer Application Modes on Yield and Quality of Rice

REN Hai, FU Lidong*, WANG Yu, LYU Xiaohong, DU Meng

(Liaoning Provincial Saline and Alkaline Land Utilization Institute, Panjin 124010, China)

Abstract: A field experiment was conducted to study the effects of calcium silicate fertilizer and impulsive seaweed liquid silicon fertilizer on the growth, yield and quality of rice 'Yanfeng 47'. The results showed that the application of two kinds of silicon fertilizers increased the number of tillers, earing rate, lodging resistance and disease resistance, and improve the quality of rice. The highest yield, 10 893 kg/ha, was gotten in C5 spraying treatment, and the second was 10 176 kg/ha in C1 basal treatment, which increased by 14.3% and 4.8%, respectively.

Key words: Rice; Silicon fertilizer; Growth and development; Yield; Quality.

水稻是人类主要的粮食作物^[1],是典型的喜硅作物,水稻施加硅肥可以增强水稻自身抗虫、抗倒、抗旱性^[2]。随着人们使用的氮肥愈来愈多,秸秆还田量愈来愈小,加速了土壤中硅元素的流失,水稻的生产也因此受到了限制^[3-4]。肥料是实现粮食安全的重要保证,长期以来我国依靠化肥的大量投入来增加单产,形成了我国特有的农田高强度利用的生产体系。日益增长的人口对粮食的需求不断增加,使我国农业生产面临着严重挑战^[5]。然而在产量不断增加的同时,农民盲目追求高产导致了肥料不合理施用等问题尤其是过量施肥。当前我国已成为世界靠前肥料消费大国,单位面积化肥施用量为世界平均水平的3倍,但肥料利用率低下,其中氮肥利用率为30%左右,磷

肥利用率仅为10%~20%。肥料的过量或不合理施用不仅不能进一步提高产量,还会导致资源浪费,损失的养分进入环境还将对农田生态环境造成严重威胁,直接影响到农田可持续利用。硅可以促进水稻生长,改善稻米品质^[6]。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^[3],日本在20世纪50年代不断研究硅肥对水稻的影响,最后通过试验证实,硅肥可以显著增加水稻的产量,确定了硅对水稻生长发育的作用,并把硅视之为水稻第四元素^[7]。相关研究表明,施加硅肥可以使水稻根系更好地发育,增加抗倒、抗病能力。为了验证两种硅肥在盐碱稻区的施用效果,探索硅肥的施用技术,笔者开展了不同硅肥不同施入量对水稻产量及品质的影响试验,以提高肥料的使用效率,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

试验于2018年在辽宁省盐碱地利用研究所

收稿日期:2018-12-24

基金项目:国家重点研发计划资助项目(2018YFD0300300),国家重点研发计划资助项目(2017YFD0300700)

作者简介:任海(1984-),男,助理研究员,主要从事水稻栽培及盐碱地改良研究。

通讯作者:付立东,男,研究员,E-mail:fld1341@126.com

试验基地开展,供试土壤类型为滨海盐渍型水稻土,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 P 10.50 mg/kg、速效 K 157.83 mg/kg、全盐 2.24 g/kg、pH 值 7.51。

1.1 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。

1.2 供试肥料

供试肥料:水稻缓释复混肥(含 N:28%、P₂O₅:18%、K₂O:8%);尿素(含 N:46%);硅钙肥:SiO₂≥15%~20%、CaO≥25%、水分≤10%,pH:8.0~10.0;冲动海藻液硅:Si≥120 g/L、K₂O≥120 g/L,pH:9.5~11.0。

1.3 试验设计

设施肥量 7 个水平,各处理标记为:CK(常规施肥)、C1(硅钙肥 900 kg/hm²基施)、C2(硅钙肥 1 350 kg/hm²基施)、C3(硅钙肥 1 800 kg/hm²基施)、C4(冲动海藻液硅 450 mL/hm²,于 2.5 叶期,稀释 1 000 倍喷施)、C5(冲动海藻液硅 900 mL/hm²,分别于拔节期、抽穗期稀释 1 000 倍喷施)、C6(冲动海藻液硅 1 350 mL/hm²,分别于 2.5 叶期、拔节期、抽穗期稀释 1 000 倍喷施)。

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,病虫害防治与大田管理一致。

1.4 调查项目

(1)秧苗素质:在移栽之前,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。

(2)茎蘖动态:在每一小区固定种植 10 穴,分蘖中开始,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。

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

(4)干物重、收获指数:在每个小区取出 1~2 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 1~2 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。

(5)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^[8]:

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%

(6)抗倒伏:在收获期,在小区选取 5 穴,每穴选择 2 个具有代表性的茎,测试和确定植株及重心高、稻穗和节间长度、穗颈节之下的第 1~4 节间(T1、T2、T3、T4)的抗折力和不同节基部到穗顶的长和鲜重、粗度及茎壁厚。以濂古秀生^[9]的方法为指导,算出不同品种的不同节间的抗折力、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。

弯曲力矩=节间基部至穗顶长度×该节间基部至穗顶鲜重

倒伏指数(cm·g/g)=弯曲力矩(cm·g)/抗折力(g)×100

(7)水稻外观品质:采用 GB1354 粳稻标准用仪器 JMWT12 进行外观品质的扫描与测定。

(8)水稻蒸煮品质:选择重量 30 g 的铝罐进行试验。稻米准备:将样品放入铝罐中加水冲洗 30 s,浸没稻米 30 min,加水到米重的 1.33 倍,记下总重。每个蒸煮样品设一个对照,蒸煮时间为 30 min,放置 2 h 进行测试。实验前对黑白板校正,称取样品 8 g 压实测试。

(9)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),选取之后实施室内考种,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

分析图 1 后发现,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会随着硅肥的施入量而有所变化,其中喷施硅肥成熟期茎蘖数普遍高于基施硅肥的处理与对照。C6 处理(“富思德”冲动海藻液硅 1 350 mL/hm²,分别于 2.5 叶期、拔节期、抽穗期,稀释 1 000 倍喷施)成熟期收获的水稻总穗数为 361.5 万株/hm²,比基施条件下 C3 处理(“富思

德”硅钙肥 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%。

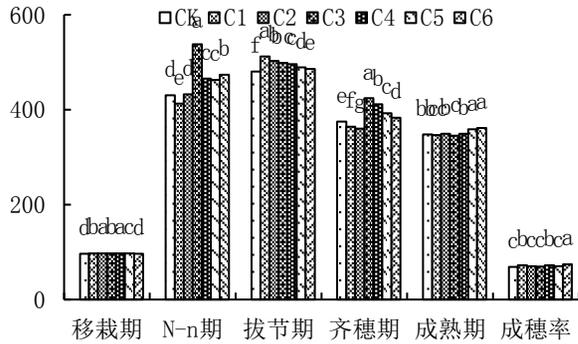


图 1 不同硅肥施入量对水稻茎蘖的影响

注:图中小写字母表示 5% 水平上的差异显著性

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 LAI,也就是叶面积指数,根据叶面积指数调查结果表明(表 1):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和发育。使水稻群体功

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^[7]。

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 2 可知,施入硅肥的各个处理,在各个时期的叶绿素含量均高于 CK。在基施处理中,N-n 期、拔节期、齐穗期调查,倒二叶叶片叶绿素的平均含量较 CK 增加了 11.9%、1.5%、5.1%,倒三叶叶片及腊熟期剑叶叶片叶绿素的平均含量较 CK 增加了 7.3%、1.2%、8.6%、26.9%。在喷施处理中,N-n 期、拔节期、齐穗期调查,倒二叶叶片叶绿素的平均含量较 CK 增加了 13.1%、5.8%、5.3%,倒三叶叶片及腊熟期剑叶叶片叶绿素的平均含量较 CK 增加了 6.2%、7.9%、18.3%、215.2%。由此可知,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 1 不同硅肥施入量对水稻叶面积指数的影响

处理	移栽期	分蘖期	拔节期	齐穗期					
	LAI	LAI	LAI	高效 LAI	低效 LAI	无效 LAI	LAI	高效叶面积率(%)	有效叶面积率(%)
CK	0.20a	1.66b	5.27b	4.24d	2.90a	0.12cd	7.26c	58.40cd	98.35cd
C1	0.20a	2.18a	4.31e	5.19a	2.36c	0.14c	7.69b	67.49a	98.18d
C2	0.20a	1.70b	5.95a	4.85b	2.98a	0.12cd	7.95a	61.01b	98.49bc
C3	0.20a	2.23a	4.07f	4.67c	2.97a	0.09d	7.73b	60.41b	98.84a
C4	0.17b	1.69b	5.28b	4.29d	2.64b	0.34a	7.27c	59.01c	95.32f
C5	0.17b	1.69b	4.87c	4.25d	2.89a	0.21b	7.35c	57.82d	97.14e
C6	0.17b	1.64b	4.52d	4.62c	2.92a	0.1cd	7.64b	60.47b	98.69ab

注:表中小写字母表示 5% 水平上的差异显著性,下同

表 2 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	42.28e	47.31e	40.02bc	43.03f	41.12e	39.24c	14.73f
C1	46.45c	49.66c	41.83b	43.53e	41.69e	42.76a	19.26c
C2	44.02d	47.71de	41.20b	43.93d	44.56b	42.69a	17.71d
C3	51.41a	54.92a	38.81c	43.19f	43.45c	42.36a	19.10c
C4	46.16c	49.00cd	45.18a	47.21a	46.00a	41.9ab	24.06a
C5	48.04b	50.00c	41.25b	45.30c	42.63d	41.63ab	21.73b
C6	49.30b	51.75b	40.58bc	46.79b	41.31e	40.61bc	15.75e

2.4 不同硅肥施入量对水稻稻瘟病、纹枯病的影响

根据表 3 可知,病情指数数据显示,CK 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%,比 C1、C2、C3、C4、C5、C6 处理分别增长了 17.6、19.7、15、18.5、16.9、18.9 个百分点。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,抑制纹枯病和穗颈瘟的侵染,从而降低水稻病害损失。

表3 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			穗颈瘟			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

2.5 不同硅肥施入量对水稻干物质积累量的影响

根据表4可知,不同硅肥施入量对水稻干物质积累量影响不同,在基施处理中,C2处理单位面积干物质积累量比CK、C1、C3处理增加-0.5%、0.3%、0.1%,收获指数以C1处理最高,比CK、C2、

C3分别高6.2%、1.8%、0.7%。在喷施处理中C6处理在单位面积干物质积累最多,达到显著水平,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,比C1、C2、C3、C4、C5、CK分别高6.9%、8.8%、7.7%、1.9%、9.4%、13.6%。

表4 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			齐穗后干物质积累量 占籽粒产量百分比	收获 指数
				茎秆	籽粒	合计		
CK	16.95b	4 276.20d	10 593.75a	8 556.00a	9 697.50c	18 253.50c	72.42a	0.531c
C1	16.95b	4 032.60e	10 083.75c	7 861.80d	10 176.00a	18 037.80a	71.74a	0.564b
C2	16.95b	4 212.30d	10 233.75b	8 107.50c	10 062.00ab	18 169.50ab	73.35a	0.554b
C3	16.95b	5 050.65b	10 293.75b	7 978.50cd	10 167.00a	18 145.50ab	72.80a	0.560b
C4	18.15a	5 330.40a	9 183.75d	6 824.40e	9 889.50bc	16 713.90ab	71.57a	0.592a
C5	18.15a	4 715.25c	9 078.00d	6 766.35e	10 287.00a	17 053.35b	70.84a	0.603a
C6	18.15a	3 347.10f	10 668.75a	8 318.85b	10 228.50a	18 547.35c	71.70a	0.551b

2.6 不同硅肥施入量对水稻茎秆倒伏指数的影响

水稻茎秆的倒伏指数与弯曲力矩成正比,与抗折力成反比,倒伏指数越小说明植株越不容易发生倒伏^[12]。根据表5可知,无论是喷施还是基施硅肥均会促进茎秆粗壮,增加茎秆抗性,从试验结果看,各处理弯曲力矩和抗折力表现为:T4>T3>T2>T1,说明越是基部节间抗折力就越

大。在基施处理中C2处理倒伏指数最小,C3处理倒伏指数最大,在喷施的处理中C4处理倒伏指数最小,C6处理倒伏指数最大,说明随着施硅量的增加,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,硅肥施用量对水稻茎秆基部伸长节茎粗的作用达到显著水平,硅肥能够增加水稻茎秆粗度,降低水稻的倒伏指数。

表5 不同硅肥施入量对水稻茎秆倒伏指数的影响

处理	T1			T2		
	抗折力(g)	弯曲力矩(cm·g)	倒伏指数(cm·g)/g	抗折力(g)	弯曲力矩(cm·g)	倒伏指数(cm·g)/g
CK	240.19e	355.69a	148.09a	413.58f	652.89a	157.86a
C1	284.50c	316.60c	111.28d	566.19a	582.49d	102.88d
C2	312.40a	286.19e	91.61e	540.60b	521.16f	96.40d
C3	300.00b	287.58e	95.86e	390.00g	527.38f	135.22b
C4	268.98d	319.92bc	118.94c	488.06e	596.24c	122.16c

续表 5

处理	T1			T2		
	抗折力(g)	弯曲力矩(cm·g)	倒伏指数(cm·g)/g	抗折力(g)	弯曲力矩(cm·g)	倒伏指数(cm·g)/g
C5	271.92d	296.37d	108.99d	526.77c	535.91e	101.74d
C6	240.00e	326.63b	136.09b	509.85d	606.31b	118.92c
处理	T3			T4		
	抗折力(g)	弯曲力矩(cm·g)	倒伏指数(cm·g)/g	抗折力(g)	弯曲力矩(cm·g)	倒伏指数(cm·g)/g
CK	851.34c	979.33a	115.03b	1 049.23d	1 345.40a	128.23a
C1	873.66bc	881.34bc	100.88c	1 144.98b	1 214.87c	106.10c
C2	900.27a	777.05d	86.31d	1 125.05c	1 075.85d	95.63d
C3	610.00f	788.96cd	129.34a	1 020.00e	1 004.56e	98.49d
C4	666.03e	908.64ab	136.43a	1 120.00c	1 232.65c	110.06b
C5	815.27d	795.57cd	97.58c	968.22f	1 089.64d	112.54b
C6	889.95ab	933.29ab	104.87c	1 226.38a	1 308.59b	106.70c

2.7 不同硅肥施入量对水稻茎基宽的影响

由表 6 可知,水稻茎秆从基部向上各个节间茎基宽逐渐增大,随着 SiO₂施入量的增加呈增加趋势。各处理的株高随着硅肥的施入量增加而减

少。水稻各处理茎粗及壁厚也存在着差异,壁厚与茎粗由基部到穗逐渐减小,具体表现为:T4>T3>T2>T1。施加适量的硅肥具有显著提升水稻茎秆基部伸长节茎粗的作用。

表 6 不同硅肥施入量对水稻茎基宽的影响

处理	株高	壁厚				茎粗			
		T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
CK	108.5a	0.729e	0.788e	0.934d	0.982g	2.322f	3.823a	4.625g	5.190f
C1	107.5b	0.733e	0.834d	0.970c	1.280b	2.839c	4.487a	5.246b	5.783b
C2	105.5d	0.808d	0.905b	1.199a	1.110e	2.561e	4.327a	4.810e	5.561c
C3	106.5c	0.851b	0.851c	0.990b	1.174c	2.872b	4.486a	5.141d	5.276e
C4	105.5d	0.833c	0.853c	0.944d	1.094f	2.858b	4.731a	5.174c	5.568c
C5	101.0e	0.708f	0.825d	0.940d	1.133d	2.817d	4.573a	4.748f	5.367d
C6	105.0d	0.893a	0.922a	1.002b	1.367a	3.232a	4.835a	5.448a	6.123a

2.8 不同硅肥施入量对稻米外观品质的影响

由表 7 可知,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 处理与对照差异达到显著水平。基施处理中,各处理垩白粒率分别较 CK 下降 1.8、

3.5、4.5 个百分点,垩白度下降 5.5、5.8、6.7 个百分点。在喷施处理中,各处理垩白粒率分别较 CK 下降 3.9、4.0、5.1 个百分点,垩白度下降 5.7、6.6、6.8 个百分点。各处理精米白度较对照无明显差异。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。

表 7 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	4.59b	2.7a	1.70a	10.3a	14.2a	123bc	3.66a
C1	4.62ab	2.9a	1.59b	8.5b	8.7ab	118c	3.79a
C2	4.60ab	3.0a	1.53c	6.8c	8.4ab	130a	3.72a
C3	4.61ab	3.0a	1.54c	5.8d	7.5b	130a	3.88a
C4	4.61ab	3.0a	1.54c	6.4c	8.5ab	125ab	3.74a
C5	4.71a	3.0a	1.57bc	6.3cd	7.6b	125ab	4.00a
C6	4.63ab	3.0a	1.54c	5.2e	7.4b	126ab	4.02a

2.9 不同硅肥施入量对稻米加工品质的影响

由表8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。在基施各处理中直链淀粉

含量、蛋白质含量、糙米率、精米率、整精米率,分别较对照增加2.5%、9%、5.0%、7.7%、9.2%。喷施硅肥处理中直链淀粉含量、蛋白质含量、糙米率、精米率、整精米率,分别较对照增加2.5%、6.7%、6.2%、6.8%、16.2%。

表8 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	78.78d	61.37g	56.3e
C1	19.5a	8.0a	82.91bc	67.6a	61.1d
C2	19.0bc	7.5b	82.80bc	63.56f	62.0c
C3	19.0bc	7.4b	82.50c	67.17b	61.4cd
C4	19.1abc	7.4b	83.65a	66.21c	63.3b
C5	19.1abc	7.5b	83.70a	65.35d	62.7b
C6	19.3ab	7.5b	83.43ab	65.07e	67.5a

2.10 不同硅肥施入量对水稻产量的影响

由表9可知,各施硅处理株高均低于对照,CK实际产量最低,为9 697.5 kg/hm²。在基施处理中,C1处理产量最高,为10 176 kg/hm²,分别比CK、C2、C3增加1.1%、0.1%、4.9%。喷施处理中,C5处

理产量最高,为10 287 kg/hm²,且与各处理达到显著水平,经多重比较结果表明,不同硅肥施用量均高于对照,硅钙肥和冲动海藻液对于水稻产量提高都有一定的效果,但是冲动海藻液效果更好。

表9 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)
CK	108.5a	15.8d	348.0b	41 644.5a	110.0a	95.5d	28.2c	9 697.5e
C1	107.5ab	16.2cd	346.5b	37 011.0f	105.5c	98.8a	29.3a	10 176.0b
C2	105.5c	15.8d	349.5b	38 115.0d	106.5bc	96.8b	28.7bc	10 062.0c
C3	106.5bc	17.2a	345.0b	39 319.5b	108.2ab	96.2c	28.3c	10 167.0b
C4	105.5c	16.9ab	349.5b	37 846.5e	106.3c	96.9b	28.4bc	9 889.5d
C5	101.0d	16.0d	358.5a	38 655.0c	107.2bc	96.9b	28.9ab	10 287.0a
C6	105.0c	16.6bc	361.5a	38 790.0c	106.5bc	98.4a	28.2c	10 228.5ab

4 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表现出越来越多的矛盾。硅肥已成为对水稻产量产生影响的重要因素,对硅肥进行推广已成为紧迫的任务。本试验结果表明,在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,缩短水稻基部节间长度、降低株高、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,还能提高稻米的糙米率、精米率、整精米率,增产效果显著^[7,13],这和杨良金、许佳莹等的研究是^[14-17]一致的,通过试验发现叶面喷施硅肥在分蘖、叶面积指数等方面均高于基施处理。叶面喷施相对基施优势在于可以避免与土壤

接触,减少对土壤的污染。营养成分可直接通过叶片吸收利用,使水稻群体植株拥有更强的光合作用能力,光合指数越大,可实施光合作用的功能叶片越多,植株光合作用就越强,光能利用率就越高,这使得水稻增产有了更多的可能。其中在喷施处理中,C5处理(冲动海藻液硅900 mL/hm²,分别于拔节期、抽穗期稀释1 000倍喷施)产量最高为10 287 kg/hm²,在基施处理中,C1处理(硅钙肥900 kg/hm²基施)产量最高为10 176 kg/hm²。即C5处理(冲动海藻液硅900 mL/hm²,分别于拔节期、抽穗期稀释1 000倍喷施)效果最好。本研究只选取了在辽宁、京津地区水稻大面积使用的盐丰47作为研究材料,对于揭示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。(下转第58页)

- [9] 晋爱兰,张供领,万双秀,等.中草药对肉鸡球虫病临床病例的疗效研究[J].中国畜牧兽医,2010,37(7):208-209.
- [10] 黄 兰,薛敬洁,刘 维,等.中草药复方制剂对球虫感染鸡免疫器官和生长性能的影响[J].中国家禽,2010,32(16):18-20.
- [11] 刘永录,温士杰,董从刚,等.超微粉鸡球虫散常温制备方法及其专用双向气流筛分机[P].中国专利:102512514,2012-06-27.
- [12] 杜美丹.复方中草药与氨丙啉联合使用防治鸡球虫病的效果试验[J].浙江畜牧兽医,2009(5):25-26.
- [13] 高明燕,刘爱玲,刘桂兰,等.抗球虫病药物的研究进展[J].安徽农业科学,2013,41(14):6308-6311.
- [14] 刘陆军,庄小微,郭成亮,等.盐霉素与中药联合用药抗鸡球虫病的疗效试验[J].湖北畜牧兽医,2010(9):10-13.
- [15] 许金俊,陶建平,彭金彪,等.柔嫩艾美耳球虫扬州分离株对8种抗球虫药的抗药性[J].畜牧与兽医,2008,40(1):18-21.
- [16] 颜 卉,郑伟斌,杜绍范,等.中西结合制剂防治鸡柔嫩艾美耳球虫病试验[J].中国兽医杂志,2006,42(5):37-38.
- [17] 肖 寒.鸡球虫的分离鉴定及防治鸡球虫病中西药复方制剂的研究[D].合肥:安徽农业大学,2008.
- [18] 郭红斌,弓素梅,王凤霞.四个抗球虫中药复方对肉鸡球虫病疗效对比试验[J].湖北农业科学,2011,50(13):2702-2703.
- [19] 陈蒲丹,刘 娟.青蒿及其提取物对鸡柔嫩艾美耳球虫的抑制作用[J].中兽医医药杂志,2008(2):24-26.
- [20] 李佩国,李蕴玉,张香斋,等.雏鸡感染柔嫩艾美耳球虫后血清生化指标的动态变化[J].中兽医医药学报,2008,28(6):676-693.
- [21] 薛飞群,费陈忠,赵其平,等.中药抗球虫制剂TF-103的亚慢性毒性试验[J].中国兽医科学,2003,33(5):43-46.
- [22] 薛敬洁.中药复方制剂对球虫感染鸡血液免疫指标和酶活性影响[J].中兽医医药杂志,2010(4):12-15.
- [23] 周作勇.中药球康对鸡球虫病的防治及作用机理的研究[D].重庆:西南大学,2006.
- [24] 樵星芳,陈建康,杨扬,等.中草药防治球虫病研究与应用现状[J].上海畜牧兽医通讯,2011(3):42-43.
- [25] 李龙瑞,张吉鹏,张庆生,等.中兽药超微粉碎工艺研究[J].东北农业科学,2019,44(1):32-39.
- [26] 李致宝.化学抗球虫药和中药对球虫病的疗效对比试验[J].畜禽业,2000(8):16-17.
- [27] 索 勋,李国清.鸡球虫病学[M].北京:中国农业大学出版社,1998:158-167.
- [28] El-Abasy M, Motobu M, NA Ki-Jeong, et al. Protective effects of sugar cane extracts(SCE) on *Eimeria tenella* infection in chickens [J]. Journal of Veterinary Medical Science, 2003, 65(8): 865-871.
- [29] Murtaza Ali Tipu, Pasha T N, Zhlfliqar Ali. Comparative efficacy of salinomycin sodium and Neem Fruit (*Azadirachta Indica*) as feed additive anticoccidials in Broilers[J]. International Journal of Poultry Science, 2002, 1(4): 91-93.
- [30] 杜爱芳.药物对球虫感染鸡血液及生化指标的影响[J].中国兽医学报,2002,22(1):73-74.
- [31] 都业良,刘焕奇,李迎梅,等.复方中药和西药单独及联合用药对鸡 *E. tenella* 的疗效研究[J].安徽农业科学,2009,37(13):5992-5993.
- [32] Naidoo V, McGaw L J, Bisschop S P, et al. The value of plant extracts with antioxidant activity in attenuating coccidiosis in broiler chickens[J]. Veterinary Parasitology, 2008, 153(3): 214-219.
- [33] Guo F C, Kwakkel R P, Williams B A, et al. Effects of mushroom and herb polysaccharides on cellular and humoral immune responses of *Eimeria tenella* infected chickens[J]. Poultry Science, 2004, 83(7):1124-1132.

(上接第18页)

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] 徐新朋,魏 丹,李玉影,等.基于产量反应和农学效率的推荐施肥方法在东北春玉米上应用的可行性研究[J].植物营养与肥料学报,2016(6):1458-1467.
- [6] 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.
- [7] 吴 巍,张 宽,王秀芳,等.硅肥对水稻养分吸收及产量的影响[J].吉林农业科学,1996(3):51-54.
- [8] 任 海,付立东,王 宇,等.硅磷肥对水稻生长发育及产量品质的影响[J].江苏农业科学,2017,45(11):57-61.
- [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] 任 海,李 旭,隋 鑫,等.水稻不同收获期茎秆抗倒伏能力及其影响因素研究[J].现代农业科技,2014(5):13-14.
- [13] 张显东,高 强,王培顺,等.硅肥在水稻上的应用研究进展[J].吉林农业科学,2012,37(2):24-26.
- [14] 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.
- [15] 陈平平.硅在水稻生活中的作用[J].生物学通报.1998,33(8):5-7.
- [16] 许佳莹,朱炼峰,禹盛苗,等.硅肥对水稻产量及生理特性影响的研究进展[J].中国稻米,2012(6):18-22.
- [17] 张忠旭,陈温福,杨振玉,等.水稻抗倒伏能力与茎秆物理性状的关系及其对产量的影响[J].沈阳农业大学学报,1999,30(2):81-85.