

# 硅肥施用量及时期对寒地水稻产量和品质性状及抗倒性的影响

金正勋<sup>1</sup>, LUGO Oke<sup>1</sup>, 朱方旭<sup>1</sup>, 张忠臣<sup>1</sup>, 金昌均<sup>2</sup>, 李京远<sup>2</sup>, 罗泓植<sup>2</sup>

(1. 东北农业大学 农学院, 黑龙江 哈尔滨 150030; 2. 韩国恩博股份有限公司, 韩国 水原 441853)

**摘要:** 选用韩国产“农爱丰”扩散性硅肥和国产可溶性硅肥, 设置不同施用量和施用时期处理, 研究硅肥施用量及时期对寒地水稻产量和品质性状及抗倒性的影响。结果表明: 施用硅肥可显著提高寒地水稻产量, 硅肥最佳施用量因品种而异, 施用量少增产效果不显著, 过多会导致减产, 肥料效率低; 产量性状和品质性状对硅肥的响应虽然因品种和施肥量不同而异, 但适量施用硅肥能提高每穴穗数、穗粒数和结实率、单株实粒重以及降低稻米直链淀粉含量和蛋白质含量, 并缩短茎秆节间长度和增加茎粗; 寒地水稻硅肥最佳施用时期为最高分蘖期至幼穗分化始期, 农爱丰硅肥最佳施用量为  $6 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

**关键词:** 水稻; 硅肥; 施用量; 施用时期; 产量; 品质

**中图分类号:** S511 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-2767(2015)10-0049-05 DOI:10.11942/j.issn1002-2767.2015.10.0049

水稻是高硅积累型植物, 其根系能主动吸收硅。稻株缺硅其生长发育会受到影响, 导致减产, 每生产 100 kg 水稻籽粒需硅 22 kg, 是氮磷钾总和的 4.4 倍。增加水稻硅含量, 既可改善水稻的受光姿势、增强抗倒伏能力、提高水稻对水分、盐、高温胁迫、铝毒、重金属毒害胁迫等多种非生物胁迫和稻瘟病、胡麻斑病、纹枯病、螟虫等生物胁迫的抗性, 同时又可减少农药的施用量, 对减轻农业源污染和保护生态环境以及水稻的可持续生产均具有重要的意义。

随着科学技术的不断发展, 近几年国内外已研发生产出各种类型的硅肥, 大幅度提高作物对硅元素的吸收利用效率, 而且在施用方法上力求简便易行。“农爱丰”硅肥是韩国恩博股份有限公司研发生产的高扩散性片剂型硅肥, 其水溶性硅酸含量为 6.5%。由于该硅肥施用量少、增产效果显著、施用方法又简便, 在池埂上抛施即可, 因此在韩国、日本、印度等国家施用“农爱丰”的量迅速增加。本试验选用“农爱丰”硅肥和河北省深州市中科启润生物有机肥料厂生产的二氧化硅含量为 27% 的水溶性硅肥进行田间比较试验, 旨在评

价“农爱丰”硅肥在寒地稻作生产中的使用效果, 为确立该硅肥的合理施用方法提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

供试水稻品种为垦稻 12、空育 131、龙粳 21。试验于 2014 年在黑龙江省密山市裴德镇德兴村进行。试验地土壤化学性质为有机质  $33.5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、全氮  $2.9 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、全磷  $553.74 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、全钾  $14.83 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、速效磷  $39.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、速效钾  $101.76 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、二氧化硅  $117.9 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、pH 7.2。

### 1.2 方法

1.2.1 试验设计 田间试验设计采用列区设计, 以施用量和施用时期为主区, 品种为副区, 小区间用塑料板隔开, 单灌单排, 4 m 行长, 6 行区, 3 次重复。4 月 8 日播种, 大棚盘育苗, 播种量为催芽籽每盘 150 g, 正常早育苗管理。5 月 20 日人工插秧, 行距 30 cm, 株距 13 cm, 每穴插 3 棵苗。

田间施肥量为纯氮  $120 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ , N:P:K 比例为 2:1:1, 磷肥全作底肥施用, 钾肥全量的 50% 作底肥施用, 剩余的 50% 作穗肥施用。氮肥全量的 50% 作底肥施用, 20% 作分蘖肥插秧后 10 d 施用, 30% 作穗肥幼穗分化期施用。其它田间管理与当地大田管理相同。

硅肥施用量设 4 个处理: 分别为施用“农爱丰” $2 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  (T1)、 $6 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  (T2)、 $10 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  (T3) 和河北省深州市中科启润生物有机肥料厂生产的二氧化硅含量为 27% 的水溶性硅肥  $10 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  (T4),

收稿日期: 2015-07-01

基金项目: 韩国中小企业厅革新企业技术开发事业资助项目; “十二五”农村领域国家科技支撑计划资助项目 (2013BAD20B04-2S)

第一作者简介: 金正勋 (1960-), 男, 吉林省图们市人, 博士, 教授, 博士生导师, 从事水稻遗传育种及栽培技术研究。E-mail: zxjin326@hotmail.com。

不施硅肥作对照(T0),于最高分蘖期(6月30日)施用。

“农爱丰”施用时期处理是插秧30 d后的6月20日(S1)、40 d后的6月30日(S2)、50 d后的7月10日(S3),以不施“农爱丰”(S0)作对照,施用量为10 kg·hm<sup>-2</sup>。

1.2.2 测定项目及方法 9月2日各小区取5株,每株测10个单茎的节间长度,用数显游标卡尺测茎秆直径,求平均值。收获时各小区先调查20穴的穗数,求平均值,从中取穗数与平均值相近的5穴,供室内考种,另收割1 m<sup>2</sup>,脱粒后称重,用于测产。

待自然干燥3个月后测定糙米率,糙米经

1.7 mm分级筛过筛后,使用韩国双龙公司生产的三立式全自动精米机将糙米分别加工成精米率为90%的糯米。用旋涡式粉碎机粉碎糯米,供糯米直链淀粉和蛋白质含量等品质性状测定。参照农业部颁布的“NY/T83-88”方法测定糯米直链淀粉含量,用凯氏定氮法测定糯米全氮含量,然后换算蛋白质含量,换算系数为5.95。以小区为单位进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 硅肥施用量对水稻产量及产量性状的影响  
硅肥施用量对水稻产量及产量性状的影响结果列于表1。

表 1 硅肥施用量对水稻产量及产量性状的影响

Table 1 Influence of silicon fertilizer on rice yield and yield qualities

品种 Varieties	处理 Treatments	每穴穗数 Panicle numbers	每穗粒数 Kernels per panicle	千粒重/g 1 000 grain weight	结实率/% Maturing rate	每株实粒重/g Solid grain weight	产量/ (kg·hm <sup>-2</sup> ) Yield	增产比率/% Yield ratio
空育 131 Kongyul31	T0	19.3 dB	60.3 aA	26.2 aA	92.3 bA	27.7 bB	7091.2 cB	—
	T1	22.5 bAB	52.7 cB	26.4 aA	91.8 bA	28.7 bB	7347.2 cB	3.6
	T2	23.0abA	55.4 bcA	26.6 aA	93.1 abA	31.6 aA	8089.6 abA	14.1
	T3	20.9 cB	58.5 abA	26.8 aA	94.9 aA	31.0 aA	7936.0 bA	11.9
	T4	23.7 aA	54.9 bcA	26.9 aA	92.1 bA	32.1 aA	8217.6 aA	15.9
垦稻 12 Kendao12	T0	17.1 abA	68.9 bA	25.0 aA	84.3 dB	25.4 bB	6502.4 cC	—
	T1	17.4 abA	68.1 bA	25.0 aA	87.7 cAB	26.3 bAB	6732.8 cC	3.5
	T2	17.7 abA	71.5 abA	25.3 aA	94.6 aA	30.2 aA	7731.2 aA	18.9
	T3	18.0 aA	70.3 bA	25.2 aA	90.4 bcAB	28.9 aAB	7398.4 bB	13.8
	T4	16.4 bA	75.3 aA	25.6 aA	90.3 bcAB	28.5 aAB	7296.0 bB	12.2
龙粳 21 Longjing21	T0	11.9 bB	84.7 bcB	25.1 aA	86.8 cB	22.5 bB	5760.0 cB	—
	T1	11.3 bB	87.6 bAB	25.4 aA	92.1 bA	23.3 bAB	5964.8 cB	3.6
	T2	13.6 aA	80.4 cB	25.3 aA	94.1 abA	24.9 abAB	6374.4 bA	10.7
	T3	11.4 bB	93.0 aA	25.8 aA	95.9 aA	25.8 aA	6604.8 aA	14.7
	T4	12.8 abAB	81.1 cB	26.1 aA	92.4 bA	25.0 aAB	6400.0 abA	11.1

不同小写字母和大写字母间分别表示在 0.05 和 0.01 水平差异显著。下同。  
Different lowercases and capital letters mean significant difference at 0.05 and 0.01 levels. The same below.

由表1可以看出,空育131、垦稻12以及龙粳21各硅肥施用量在每穴穗数、每穗粒数、结实率以及每株实粒重与对照均有显著或极显著差异,千粒重方面则与对照差异不显著。

2.2 硅肥施用量对稻米品质性状的影响

稻米直链淀粉和蛋白质含量是影响稻米蒸煮食味品质的主要因素。一般直链淀粉和蛋白质含量高会降低蒸煮食味品质。由表2可见,龙粳21

是施用硅肥的糙米率都比没施用硅肥对照高,其中T2和T3处理是显著高于对照,空育131和垦稻12虽然施用硅肥的处理比对照略高,但差异均不显著。与没施硅肥对照相比,空育131和垦稻12施用硅肥的稻米直链淀粉含量略低,其中T3、T4处理显著低于对照,龙粳21直链淀粉含量各处理都极显著低于对照。与没施硅肥对照相比,空育131施用硅肥的稻米蛋白质含量略高,其中

表 2 硅肥施用量对水稻品质性状的影响  
Table 2 Effect of silicon fertilizer content on rice quality traits

品种 Varieties	处理 Treatments	糙米率/% Brown rice ratio	直链淀粉含量/% Amylose content	蛋白质含量/% Protein content
空育 131 Kongyu131	T0	83.0 aA	19.77 aA	6.60 cA
	T1	83.2 aA	19.87 aA	7.07 abcA
	T2	83.3 aA	19.43 abA	7.10 abA
	T3	83.6 aA	18.99 bA	7.49 aA
	T4	83.1 aA	18.99 bA	6.97 bcA
垦稻 12 Kendao12	T0	81.0 aA	19.92 aA	7.55 aA
	T1	81.9 aA	19.67 aA	7.37 aA
	T2	81.6 aA	19.92 aA	7.49 aA
	T3	81.4 aA	19.04 bA	7.81 aA
	T4	81.9 aA	18.82 bA	7.34 aA
龙粳 21 Longjing21	T0	81.3 bA	19.23 aA	8.08 abA
	T1	81.5 abA	16.89 bB	7.46 cA
	T2	82.3 aA	17.14 bB	8.14 aA
	T3	82.3 aA	17.33 bB	7.60 bcA
	T4	82.1 abA	16.89 bB	7.93 abcA

表 3 硅肥施用量对水稻倒伏性状的影响  
Table 3 Effect of silicon fertilizer content on rice lodging resistant qualities

品种 Varieties	处理 Treatments	株高/cm Plant height	节间长度/cm Internode length		茎秆直径/mm Stem diameter	
			1	2	1	2
空育 131 Kongyu131	T0	94.4 abAB	9.0 aA	19.0 abA	3.4 dC	4.0 bA
	T1	89.5 bcB	7.3 bB	19.1abA	3.8 bcAC	4.5 aA
	T2	86.4 cB	7.0 bB	18.9 bA	3.6 cdBC	3.0 cB
	T3	96.9 aA	6.8 bB	20.9 aA	4.0 abAB	3.4 cB
	T4	99.7 aA	7.3 bB	20.0 aA	4.1 aA	3.4 cB
垦稻 12 Kendao12	T0	102.1 bB	7.4 aA	19.7 bcAB	4.4 cB	3.7 dB
	T1	100.7 bB	6.2 cB	19.8 bcAB	4.5 cB	3.8 cdB
	T2	105.4 bB	7.3 abA	21.2 abAB	4.8 bAB	4.0 bcAB
	T3	100.3 bB	6.2 cB	18.8 cB	5.0 abA	4.3 aA
	T4	113.8 aA	6.9 bA	23.0 aA	5.1 aA	4.1 abAB
龙粳 21 Longjing21	T0	95.1 bA	8.1 aA	17.5 abAB	4.4 cB	3.7 cB
	T1	90.0 cB	8.0 aA	17.7 abAB	4.3 cB	3.8 cB
	T2	96.4 abA	6.9 cBC	18.0 aA	4.9 bA	4.1 bAB
	T3	96.4 abA	7.4 bAB	16.1 cC	5.3 aA	4.5 aA
	T4	102.0 aA	6.2 dC	16.9 bcBC	5.1 abA	4.3 abA

2.4 硅肥施用时期对水稻产量及产量性状的影响

6 月 30 日是本试验供试品种进入最高分蘖期和幼穗分化始期。由表 4 可见,不同时期硅肥处

T2、T3 处理显著高于对照;垦稻 12 各处理与对照间没有显著差异;龙粳 21 除 T2 处理外其它处理蛋白质含量与对照相比略低,但只有 T1 处理与对照差异显著。说明施用硅肥对稻米品质性状的影响虽然因品种和施用量不同而异,但确实有利于稻米品质性状的提高。

2.3 硅肥施用量对水稻倒伏性状的影响

水稻田间倒伏一般发生在第 1 节间,节间越长、茎秆越细越容易发生倒伏。由表 3 可见,与没施硅肥对照相比,施用“农爱丰”硅肥的株高既有增高的品种和处理,也有降低的品种和处理,但施用国产硅肥的株高都比对照高。与倒伏关系密切的节间长度和茎秆直径变化比较可知,施用硅肥的水稻第 1 节间长度显著或极显著低于对照,茎秆直径显著或极显著大于对照,第 2 节间长度和茎秆直径变化是因品种和施用量不同而异,空育 131(除 T2 处理)和垦稻 12(除 T3 处理)节间长度比对照长,龙粳 21(除 T1 和 T2 处理)比对照短;第 2 茎秆直径空育 131(除 T1 处理)均比对照小,但垦稻 12 和龙粳 21 的第 2 茎秆直径各处理均比对照大。说明施用硅肥可缩短茎秆节间长度,增加茎粗,进而有利于提高水稻抗倒性。

理的水稻产量都比没施硅肥的对照高,其中 S2 处理不仅极显著高于对照,还显著高于 S1,与 S3 处理差异不显著。由产量构成因素变化比较可知,不同时期硅肥处理的单株实粒重、每穴穗数、结实

率等性状均显著或极显著高于对照,其中 S2 处理 12 的 S3 处理千粒重略高于对照。说明硅肥最佳的单株实粒重最高;空育 131 的 S2 处理和垦稻施用时期为水稻最高分蘖期至幼穗分化始期。

表 4 硅肥施用时期对水稻产量及产量性状的影响

Table 4 Effect of silicon fertilizer on rice yield and yield qualities in application period								
品种 Varieties	处理 Treatments	每穴穗数 Panicle numbers	每穗粒数 Kernels per panicle	千粒重/g 1 000 grain weight	结实率/% Maturing rate	单株实粒重/g Grain weight per plant	产量/ (kg·hm <sup>-2</sup> ) Yield	增产比率/% Yield ratio
空育 131 Kongyu131	S0	18.4 bA	59.6 aA	26.8 aAB	92.6 bA	27.6 cB	7065.6 cB	—
	S1	20.0 aA	64.8 aA	25.9 bB	92.8 bA	28.5 bcAB	7296.0 bcAB	3.3
	S2	20.7 aA	59.4 aA	27.2 aA	91.8 bB	30.3 aA	7756.8 aA	9.8
	S3	20.7 aA	57.1 bA	26.6 aAB	95.0 aA	29.4 abAB	7497.0 abAB	6.5
垦稻 12 Kendao12	S0	15.7 bB	72.4 aA	25.0 bB	92.1 bA	25.9 cB	6630.4 cB	—
	S1	16.3 bB	72.9 aA	25.5 bB	93.9 aA	27.9 bA	7142.4 bAB	7.7
	S2	18.2 aA	71.7 aA	25.6 bB	93.5 aA	29.3 aA	7500.8 aA	13.1
	S3	18.0 aA	62.6 bA	26.6 aA	94.4 aA	28.3 abA	7216.5 bA	9.3

2.5 硅肥施用时期对水稻品质性状的影响

由表 5 可见,与对照相比,不同时期施用“农爱丰”硅肥的糙米率及稻米直链淀粉含量差异不显著,施用时期越晚稻米直链淀粉和蛋白质含量

越低。说明幼穗分化时期施用“农爱丰”硅肥有利于降低稻米直链淀粉含量和蛋白质含量,进而有利于提高稻米蒸煮食味品质。

表 5 硅肥施用时期对稻米食味品质性状的影响

Table 5 Effect of silicon fertilizer on rice quality traits in application period				
品种 Varieties	处理 Treatments	糙米率/% Brown rice ratio	直链淀粉含量/% Amylose content	蛋白质含量/% Protein content
空育 131 Kongyu131	S0	83.4 aA	20.40 aA	7.01 bAB
	S1	83.0 aA	19.28 aA	7.52 aA
	S2	83.7 aA	20.45 aA	6.65 bcAB
	S3	83.2 aA	19.28 aA	6.44 cB
垦稻 12 Kendao12	S0	81.6 aA	21.72 aA	7.43 aA
	S1	81.5 aA	21.14 aA	7.31 aA
	S2	81.4 aA	21.87 aA	7.00 aA
	S3	81.8 aA	20.84 aA	7.11 aA

2.6 硅肥施用时期对水稻倒伏性状的影响

由表 6 可知,不同处理间株高没有显著差异,但节间长度和茎粗的变化是因品种不同而异。空育 131 的第 1 节间长度是 S3 处理比对照显著变短,

表 6 硅肥施用时期对水稻倒伏性状的影响

Table 6 Effect of silicon fertilizer on rice lodging resistant qualities in application period						
品种 Varieties	处理 Treatments	株高/cm Plant height	节间长度/cm Internode length		茎秆直径/mm Stem diameter	
			1	2	1	2
空育 131 Kongyu131	S0	75.0 aA	8.9 aA	20.5 bAB	3.6 bA	2.8 bB
	S1	74.6 aA	8.6 abA	20.6 bAB	4.2 aA	3.4 aA
	S2	79.5 aA	8.6 abA	23.3 aA	4.0 aA	3.2 aAB
	S3	74.3 aA	8.2 bA	19.6 bB	4.0 aA	3.2 aAB
垦稻 12 Kendao12	S0	105.0 aA	7.8 aA	20.5 aA	4.1 bB	3.5 abA
	S1	102.2 aA	7.2 abAB	20.3 aA	4.2 bB	3.6 abA
	S2	98.1 aA	6.4 cB	20.1 aA	4.1 bB	3.4 bA
	S3	105.5 aA	7.1 bAB	20.8 aA	4.6 aA	3.7 aA

比其它处理略短;第1节茎粗是S1处理比对照显著增粗,比其它处理略增粗;垦稻12的第1节间长度是S2和S3处理显著低于对照;S3处理第1节茎粗最粗,且与其它处理相比差异极显著。说明最高分蘖期至幼穗分化始期施用“农爱丰”硅肥更有利于提高水稻抗倒伏性。

### 3 结论与讨论

由于仅靠土壤硅的自然风化已不能补充土壤中有效硅含量的不断下降,日本、美国、巴西等国家已把施用硅肥作为增加水稻产量和品质的重要措施。北方有近40%的稻田缺硅,南方则达50%。因此,施用硅肥对我国水稻优质高产抗逆抗倒等具有重要的作用。

硅对植物生长的促进作用也受到施硅量的影响,施用量过低效果不明显,但施用量过高则不利于植物的生长。贺立源等<sup>[1]</sup>研究结果表明,施用过量的硅使小麦的分蘖能力受抑制,茎蘖数下降、植株矮小、千粒重下降,导致产量降低。贺立源<sup>[1]</sup>和张兴梅等<sup>[2]</sup>研究结果表明,适量施硅可促进小麦对氮、磷、钾等营养的吸收并改善小麦的生物学性状,具有明显的增产效应。水稻的根冠比随着硅浓度的增加而降低。施硅有助于株形挺拔、叶片伸长、改善水稻功能叶姿态、使叶片与茎夹角减小<sup>[3]</sup>,叶片增厚、维管束加粗、叶绿体增大,其中的片层结构和基粒增多、叶绿素含量增加、净光合率提高<sup>[4]</sup>。饶立华等<sup>[4]</sup>发现,硅可促进水稻根系生长,增加根系活力,改善通气组织和根部的氧化能力,提高其对水分和养分的吸收量。由本试验结果可知,适当施用农爱丰硅肥或其它硅肥能提高每穴穗数、穗粒数和结实率及单株实粒重,进而显著提高寒地水稻单产,但施用量过多反而会导致减产,硅肥最佳施用量因品种而异,与前人的众多研究结果基本一致。

稻米直链淀粉和蛋白质含量是影响稻米蒸煮食味品质的最重要内在因素,与稻米粘特性和食味品质呈负相关<sup>[5-6]</sup>。梁永超等<sup>[7]</sup>研究结果表明,硅可抑制水稻对氮、钾的吸收;Sistani K R等<sup>[8]</sup>发现,水稻含氮量随硅肥施用量的增加而下降,含磷量则上升。但邢雪荣等<sup>[9]</sup>研究结果表明,施硅后水稻茎叶中的氮含量略有下降,而穗中的含量上升。肖千明等<sup>[10]</sup>研究结果表明,玉米四叶期以

前吸硅量较低,拔节期吸收增加,抽穗初期为吸硅高峰,贺立源等<sup>[1]</sup>研究结果表明,小麦对硅的吸收主要在拔节期以后,但陈兴华等<sup>[11]</sup>认为,小麦出苗至拔节期是吸硅的高峰期。这就说明不同作物在不同的生育期对硅的吸收也不同。

由本试验结果可知,施用硅肥对稻米品质性状和抗倒伏性状的影响虽然因品种和施用量不同而异,但适当施用硅肥确实有利于降低稻米直链淀粉含量和蛋白质含量以及显著缩短茎秆节间长度,增加茎粗,进而有利于提高稻米蒸煮食味品质和水稻抗倒性。由于在水稻最高分蘖期至幼穗分化始期施用硅肥不仅显著提高水稻单株实粒重和群体产量,而且有利于降低稻米直链淀粉含量和蛋白质含量以及缩短茎秆间长度和增加茎粗。因此,依据本试验结果和前人的研究结果,在寒地水稻栽培上最高分蘖期至幼穗分化始期适量施用可溶性硅肥是提高水稻单产和稻米蒸煮食味品质及抗倒性的重要栽培措施。对于“农爱丰”硅肥来讲,最佳施用量为6 kg·hm<sup>-2</sup>,施用量过少增产效果不显著,过多反而减产,肥料利用效率低。

### 参考文献:

- [1] 贺立源,江世文. 小麦施用硅钙肥效应的研究[J]. 土壤肥料,1999(3): 8-11.
- [2] 张兴梅,邱忠祥,刘永菁. 春小麦硅肥效应的研究[J]. 土壤肥料,1997(1): 39-41.
- [3] 马同生. 我国水稻土硅素养分与硅肥施用研究现状[J]. 土壤学进展,1990,18(4): 1-5.
- [4] 饶立华,覃莲祥,朱玉贤,等. 硅对杂交稻形态结构和生理的效应[J]. 植物生理学通讯,1986(3): 20-24.
- [5] 黄星,李晓光,刘洪亮,等. 水稻杂种后代籽粒直链淀粉含量选择与品质和产量性状的关系[J]. 中国水稻科学,2009,23(6): 657-660.
- [6] 刘海英,李晓光,刘宏亮,等. 水稻杂种后代籽粒直链淀粉含量选择与品质和产量性状的关系[J]. 中国水稻科学,2009,23(1): 103-106.
- [7] 梁永超,张永春,马同生. 植物的硅素营养[J]. 土壤学进展,1993,21(3): 7-14.
- [8] Sistani K R, Savant N K, Reddy K C. Effect of rice hull ash silicon on rice seedling growth[J]. Journal of Plant Nutrition, 1997, 20(1): 195-201.
- [9] 邢雪荣,张蕾. 植物的硅素营养研究综述[J]. 植物学通报,1998,15(2): 33-40.
- [10] 肖千明,马兴全,娄春荣,等. 玉米硅的阶段营养与土壤有效硅关系研究[J]. 土壤通报,1999,30(4): 185-188.
- [11] 陈兴华,梁永超,马同生. 小麦对硅素养分吸收的初探[J]. 土壤肥料,1991(5): 38-40.

## Effect of Silicon Application Rate and Stage on Yield, Quality and Lodging Resistance of Rice in Cold Region

JIN Zheng-xun<sup>1</sup>, LUGO Oke<sup>1</sup>, ZHU Fang-xu<sup>1</sup>, ZHANG Zhong-chen<sup>1</sup>, KIM Changgyun<sup>2</sup>, LEE Kyungweon<sup>2</sup>, NA Hongsik<sup>2</sup>

(1. Agricultural College of Northeast Agriculture University, Harbin, Heilongjiang 150030;  
2. Nousbo Limited Company, Suwon, Korea 441853)

# 复合肥与腐殖酸配施对盐碱地改良及棉花生长的影响

陈佳<sup>1</sup>,姜增明<sup>1</sup>,费云鹏<sup>2</sup>,王敏欣<sup>2</sup>

(1. 中化化肥有限公司 烟台作物营养与植物保护研究中心, 山东 烟台 265500; 2. 中化化肥有限公司, 北京 100031)

**摘要:**为提高肥料利用率,提高盐碱地的棉花产量,研究了复合肥与腐殖酸配合施用对盐碱地改良及棉花生长的影响。结果表明:于等量无机养分水平下,施用腐殖酸能有效的缓解土壤全盐量的增加,降低土壤酸碱度,增加土壤有机质含量。与对照和单独施用复合肥相比,普通复合肥配合腐殖酸施用后,棉花产量分别增产 17.7%和 5.8%。相比单独施用普通复合肥,与腐殖酸配合施用后,土壤碱解氮、速效磷和速效钾含量分别增长 5.7%、33.1%、24.4%。

**关键词:**盐碱地;腐殖酸;棉花;改良;产量

中图分类号:S562 文献标识码:A 文章编号:1002-2767(2015)10-0054-04 DOI:10.11942/j.issn1002-2767.2015.10.0054

环渤海地区是我国重要的农产品生产基地和经济快速发展区域,然而受淡水资源匮乏和土壤瘠薄盐碱等因素制约,环渤海 4 省(市)拥有 266.67 万 hm<sup>2</sup> 中低产田和 66.67 万 hm<sup>2</sup> 盐碱荒地,是该区域农业发展的重要后备耕地资源<sup>[1]</sup>。盐碱地中过多的盐分离子以及偏碱性的土壤环境引起氮素肥料的挥发损失,导致棉花营养障碍<sup>[2-3]</sup>,进而影响棉花生长发育和产量。因此盐碱地棉花施肥,不能仅考虑棉花养分的需求,同时还需考虑盐碱地的改良及土壤肥力的提高。

腐殖酸是一种有机高分子活性物质,在多领域均有较广泛的应用。近年来研究证明,腐殖酸

具有改良土壤、促进土壤团粒结构形成、提高土壤保水保肥性能和供肥性能、减少铝离子和盐分浓度过高的毒害、提高养分有效性,提高根系吸肥能力,刺激作物生长等作用。本试验研究了普通复合肥与腐殖酸配合施用对盐碱地的改良效果及对棉花生长、产量的影响,旨在为环渤海地区盐碱地改良,提高肥料利用率,提升棉花产量等方面提供试验依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

试验于 2014 年 4-10 月在山东滨州市滨城区南孙村进行,试验面积 667 m<sup>2</sup>。供试土壤属于中度盐碱地。土壤基本性状为:pH7.97,有机质 0.58%,碱解氮 42.0 mg·kg<sup>-1</sup>,速效磷 7.1 mg·kg<sup>-1</sup>,速效钾 129.0 mg·kg<sup>-1</sup>,全盐量 2.96 g·kg<sup>-1</sup>。腐殖酸选用腐植酸钾。

收稿日期:2015-03-05  
基金项目:国家科技支撑计划资助项目(2013BAD05B04)  
第一作者简介:陈佳(1984-),女,湖南省沅江市人,硕士,农艺师,从事养分资源管理研究。E-mail: chenjie2@sinochem.com。

**Abstract:** Taking two silicon fertilizers (SF) of Korean diffusive "Silica Tabs" and Chinese soluble silicon fertilizer were used to research on effects of silicon application rate and stage on rice yield, quality and lodging resistance in cold region. The random block experiment in rice field was conducted with different application rate and stage of silicon fertilizers. The results showed that application of silicon fertilizers increased rice yield significantly, and its optimal amount varied for different varieties. Less application rate of SF resulted in worse yield, while overuse of SF caused loss of yield and low fertilizer efficiency. Therefore, optimal application rate of SF contributed to increasing panicle numbers, kernels per panicle, setting percentage, grain weight per plant, decreasing amylose content and protein content as well as shortening internode length and increasing stem diameter. Thus, the optimal application for rice in cold region should be carried out between the highest tillering stage to ear differentiation, especially six kilograms per hectare of "Silica Tabs" silicon fertilizer was optimum.

**Keywords:** rice; silicon fertilizer; application rate; application stage; yield; quality

(该文作者还有郭雪冬,单位同第一作者;邓亮,单位同第五作者)