

硅镁锌不同配比对水稻光合作用及产量的影响

尹振功¹, 栾海¹, 于金海¹, 丛万彪¹, 张弘强¹, 方仁柱¹, 王翠娟²

(1. 黑龙江省农业科学院 作物育种研究所, 黑龙江 哈尔滨 150086; 2. 北大荒垦丰种业有限公司, 黑龙江 哈尔滨 150090)

摘要:为探究硅、镁、锌互作最优配比以提高水稻产量,以水稻品种龙粳 29 为试材,利用二次回归正交旋转设计方案研究硅镁锌不同配比用量对水稻光合作用及产量的影响。结果表明:净光合速率与产量呈负相关,气孔导度、胞间二氧化碳浓度和蒸腾速率与产量呈正相关,气孔导度对产量的影响最大,施用中间量的硅镁锌肥能使气孔导度达到最大值。

关键词:硅;镁;锌;光合作用;产量

中图分类号:S511.062

文献标识码:A

文章编号:1002-2767(2014)07-0051-04

据统计,2007~2008 年度全球稻米产量为 4.23 亿 t,比上年度增长 1.1%。全球稻米消费量为 4.23 亿 t,增长 0.6%^[1]。稻米库存 7 517 万 t,比上年度增长 0.5%,仅相当于 2000~2001 年度的 50%。全球稻米库存消费比为 17.8%,与 2007~2008 年度持平,为 1976~1977 年度以来最低,供求形式严峻,处于紧平衡状态。硅、镁、锌三种元素在生育动态、产量、品质和光合作用等方面在一定用量范围内对水稻有良好的促进作用,这三种元素的配合施用已成为水稻平衡营养的一个迫切问题^[2-4]。影响水稻个体(群体)产量构成因素的因子很多,肥料配比对水稻光合作用及产量的影响最为显著^[5-7]。该试验研究硅镁锌互作对水稻产量和品质影响的规律,优化当光合作用及产量达到最佳值时的硅镁锌配比,进而指导水稻生产,明确高产栽培模式,使黑龙江省水稻产量再上新台阶。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2012 年 4 月在黑龙江省农业科学院试验田进行。试验区为典型的温带大陆季风气候,年平均气温 3.6℃,≥10℃ 活动积温为 2 800℃,年平均降水量为 511.5 mm,土壤类型为黑土,黑土层厚度 25~40 cm。

土壤碱解氮 178.50 mg·kg⁻¹,有效磷 8.67 mg·kg⁻¹,速效钾 270.50 mg·kg⁻¹,有机质 3.06%,pH7.09。

1.2 材料

选用主茎 11 片叶的水稻品种龙粳 29 作为试验品种。供试肥料为尿素(含 N 46%)、重过磷酸钙(含 P₂O₅ 46%)、硫酸钾(含 K₂O 50%)、大连希林索硅肥(SiO₂ ≥ 20%)、七水硫酸镁(含量 99%)、ZnSO₄(含量 98%)。

1.3 方法

1.3.1 试验设计 试验采用二次回归正交旋转设计,设置 23 个小区,每个小区 5 m×2 m,随机排列,小区用 PVC 波纹塑料板分隔,进行单排单灌。氮磷钾施肥量见表 2,磷肥全部用作基肥,钾肥 60%用作基肥,40%用作穗肥。氮肥按照大田生产配比分为基肥、蘖肥、调节肥和穗肥,4 次施入。苗龄达到 3.1~3.5 叶时,按每穴 4 苗,行距 30 cm,株距 12 cm,5 月 25 日插秧,其它管理按旱育稀植三化栽培技术进行。

表 1 试验设计

Table 1 Experimental design

水平 Level	试验因素 Experimental factors		
	X ₁ 硅肥(Si)/ kg·hm ⁻²	X ₂ 镁肥(Mg)/ kg·hm ⁻²	X ₃ 锌肥(Zn)/ kg·hm ⁻²
1.6818	600	450	81.6
1	486	364.8	66.6
0	318.75	240	44.55
-1	151.5	115.2	22.5
-1.6818	37.5	30	7.5

1.3.2 测定项目及方法 (1) 光合特性的测定。在灌浆期采用 LI-COR 公司生产的 LI-6400 光合测量系统测定功能叶的气孔导度、胞间二氧化碳浓度、蒸腾速率,每个小区两个品种,每个品种测定 6 个叶片。(2) 考种测产。于 9 月末水稻完熟期进行考种测产,测定产量构成因子,包括每平方米穗数、每穗粒数、结实率和千粒重。所有数据使

收稿日期:2014-03-31

基金项目:青年科技创新人才资助项目(2013RFQYJ018)

第一作者简介:尹振功(1986-),男,黑龙江省哈尔滨市人,硕士,研究实习员,从事水稻育种工作。E-mail:yinzhengong@163.com。

表 2 试验区氮磷钾用量

Table 2 The consumption of N,P,K in test area

肥料 Fertilizer	基肥/kg·hm ⁻² Base fertilizer	穗肥/kg·hm ⁻² Tiller fertilizer	调节肥/kg·hm ⁻² Regulate fertilizer	穗肥/kg·hm ⁻² Earing fertilizer	总量/kg·hm ⁻² Total
尿素 Urea	58.95	83.25	27.6	55.2	225
重过磷酸钙 Triple superphosphate	113.55	0	0	0	113.55
硫酸钾 Potassium sulphate	93.9	0	0	62.7	156.6

用 EXCEL 进行初步处理后,采用 DPS 数据处理系统进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 硅镁锌配合施用对水稻净光合速率的影响

在计算机上用“二次正交旋转回归组合设计程序”运算,求得净光合速率与各因子之间的编码回归方程为:

$$Y = 13.34361 + 0.07238X_1 + 0.07211X_2 + 0.00908X_3 - 2.78447X_1^2 - 2.52697X_2^2 - 2.42923X_3^2 - 0.43911X_1X_2 - 1.30036X_1X_3 - 0.41370X_2X_3 \dots\dots\dots (1)$$

由方程(1)可以得出 $|b_1| = 0.07238 > |b_2| = 0.07211 > |b_3| = 0.00908$, $|b_{13}| = 1.30036 > |b_{12}| = 0.43911 > |b_{23}| = 0.41370$,即硅锌对Y的互作效应依次大于硅镁肥大于镁锌肥。所以该试验中,3个单因子对净光合速率的影响顺序为:硅肥>镁肥>锌肥;其中两因子互作对净光合速率的影响顺序为:硅锌肥>硅镁肥>镁锌肥。由方差分析可知, $P_{\text{回归}} = 0.0131 < P = 0.05$,说明方程(1)拟合得较好,可以用来预测硅镁锌肥施用量与净光合速率之间的关系。

对原始回归方程采用“降维法”,得到各因子的实值方程。

$$Y_{\text{硅肥}} = 13.34361 + 0.07238X_1 - 2.78447X_1^2$$

$$Y_{\text{镁肥}} = 13.34361 + 0.07211X_2 - 2.52697X_2^2$$

$$Y_{\text{锌肥}} = 13.34361 + 0.00908X_3 - 2.42923X_3^2$$

从图1中可以看出,各因素在0水平时净光合速率达到最大值,在-1.6818和+1.6818时达到最小值,说明最高量和最低量的硅镁锌施用量能使净光合速率达到最小值。

2.2 硅镁锌对水稻气孔导度的影响

进行主因素分析,得到各因子的实值方程。

$$Y_{\text{硅肥}} = 1.70489 - 0.04482X_1 - 0.35699X_1^2$$

$$Y_{\text{镁肥}} = 1.70489 - 0.01934X_2 - 0.37325X_2^2$$

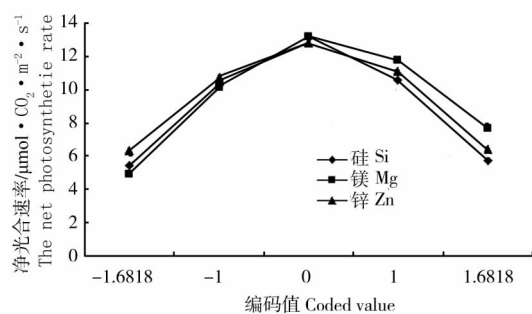


图1 不同编码值的净光合速率

Fig. 1 The net photosynthetic rate of different coded value

$$Y_{\text{硅肥}} = 1.70489 - 0.04225X_3 - 0.32769X_3^2$$

从图2中可以看出,硅肥、镁肥、锌肥均使气孔导度在0水平处理附近达到最大值,从-1.6818~0水平气孔导度呈上升趋势,各肥料对气孔导度的影响大小依次为镁肥>硅肥>锌肥,在0~1.6818水平使气孔导度呈下降趋势。气孔导度最大值为 $0.95 \mu\text{mol} \cdot \text{H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,相应的肥料用量为硅 $2272.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、镁 $1728.0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、锌 $999.0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

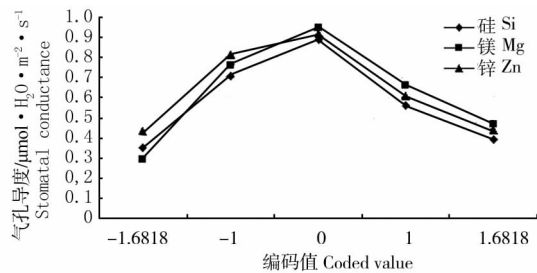


图2 不同编码值的气孔导度

Fig. 2 The stomatal conductance of different coded value

2.3 硅镁锌对水稻胞间CO₂浓度的影响

在计算机上用“二次正交旋转回归组合设计程序”运算,求得胞间CO₂浓度与各因子之间的编码回归方程为:

$$Y = 330.09834 - 3.13426X_1 - 3.01338X_2 - 1.21692X_3 + 12.55019X_1^2 + 13.80234X_2^2 + 15.31968X_3^2 + 0.64583X_1X_2 + 5.95833X_1X_3 + 1.97918X_2X_3 \dots\dots\dots (2)$$

$P_{\text{回归}}=0.025\ 3<P=0.05$ 说明方程(2)拟合得较好,可以用来预测硅镁锌肥施用量与胞间 CO_2 浓度之间的关系。

由方程(2)式可以得出 $|b_1|=3.134\ 26>|b_2|=3.013\ 38>|b_3|=1.216\ 92, |b_{13}|=5.958\ 33>|b_{23}|=1.979\ 18>|b_{12}|=0.645\ 83$, 该试验中,3 因子对胞间 CO_2 浓度影响顺序为:硅肥>镁肥>锌肥;其中两因子互作对胞间 CO_2 浓度的影响顺序为:硅锌肥>镁锌肥>硅镁肥。

对原始回归方程采用“降维法”,得到各因子的实值方程。

$$Y_{\text{硅肥}} = 330.098\ 34 - 3.134\ 26X_1 + 12.550\ 19X_1^2$$

$$Y_{\text{镁肥}} = 330.098\ 34 - 3.013\ 38X_2 + 13.802\ 34X_2^2$$

$$Y_{\text{锌肥}} = 330.098\ 34 - 1.216\ 92X_3 + 15.319\ 68X_3^2$$

从图 3 中可以看出,硅肥、镁肥、锌肥均使胞间 CO_2 浓度在 0 水平处理附近达到最小值,从 $-1.681\ 8\sim 0$ 水平间胞间 CO_2 浓度呈下降趋势,从 $0\sim 1.681\ 8$ 水平呈上升趋势,从图 3 中可以看出各肥料对胞间 CO_2 浓度的影响大小依次为锌肥>镁肥>硅肥。经过模拟选优,胞间 CO_2 浓度的最大值为 $388.61\ \mu\text{molCO}_2\cdot\text{mol}^{-1}$,各因素组合为硅肥 $2\ 272.5\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、镁肥 $1\ 728.0\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、锌肥 $337.5\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。

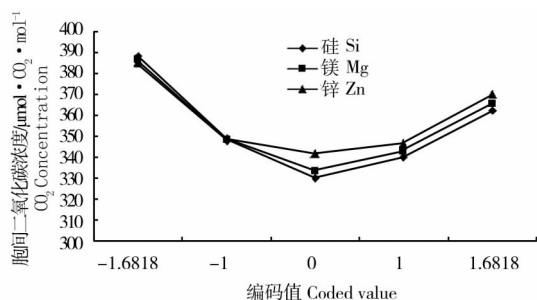


图 3 不同编码值的胞间 CO_2 浓度

Fig. 3 The CO_2 -concentration of different coded value

2.4 硅镁锌对蒸腾速率的影响

在计算机上用“二次正交旋转回归组合设计程序”运算,求得胞间 CO_2 浓度与各因子之间的编码回归方程为:

$$Y=3.172\ 04-0.321\ 94X_1-0.101\ 09X_2-0.286\ 43X_3+0.134\ 98X_1^2+0.581\ 86X_2^2+0.597\ 25X_3^2-0.358\ 70X_1X_2-0.168\ 39X_1X_3-0.088\ 80X_2X_3\ \dots\dots\dots (3)$$

$P_{\text{回归}}=0.020\ 2<P=0.05$,说明方程(3)拟合

得较好,可以用来预测硅镁锌施用量与蒸腾速率之间的关系。

由方程式可以得出 $|b_1|=0.321\ 94>|b_3|=0.286\ 43>|b_2|=0.101\ 09, |b_{12}|=0.358\ 70>|b_{13}|=0.168\ 39>|b_{23}|=0.088\ 80$,3 因子对胞间 CO_2 浓度影响顺序为:硅肥>锌肥>镁肥;其中两因子互作对胞间 CO_2 浓度的影响顺序为:硅镁肥>硅锌肥>镁锌肥。对原始回归方程采用“降维法”,得到各因子的实值方程。

$$Y_{\text{硅肥}} = 3.172\ 04 - 0.321\ 94X_1 + 0.134\ 98X_1^2$$

$$Y_{\text{镁肥}} = 3.172\ 04 - 0.101\ 09X_2 + 0.581\ 86X_2^2$$

$$Y_{\text{锌肥}} = 3.172\ 04 - 0.286\ 43X_3 + 0.597\ 25X_3^2$$

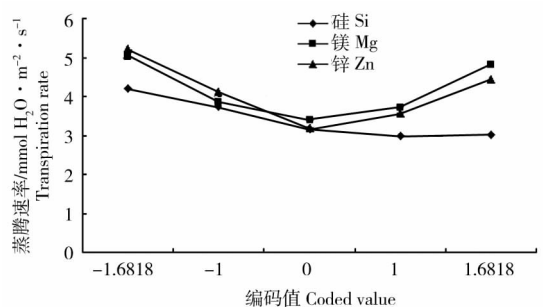


图 4 不同编码值的蒸腾速率

Fig. 4 The transpiration rate of different coded value

从图 4 中可以看出,硅肥、镁肥、锌肥均使蒸腾速率在 0 水平处理附近达到最小值,从 $-1.681\ 8\sim 0$ 水平蒸腾速率呈下降趋势,镁肥和锌肥在 $0\sim 1.681\ 8$ 水平使蒸腾速率呈上升趋势,硅元素对蒸腾速率的影响在 $1\sim 1.681\ 8$ 水平保持恒定,即超过 1 水平增施硅肥对蒸腾速率没有影响。

通过模拟选优,得到蒸腾速率的最高值为 $5.23\ \text{mmolH}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,相应的肥料施用量为硅 $4\ 781.25\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、镁 $3\ 600.00\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、锌 $112.50\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。另外,施用硅肥会在叶片表面形成硅层,使得气孔开度较大,引起蒸腾速率升高。

2.5 光合指标与产量的相关性

由表 3 可知,净光合速率与胞间 CO_2 浓度呈极显著差异,随净光合速率的增加胞间 CO_2 浓度呈负相关,气孔导度与蒸腾速率呈极显著差异,随气孔导度的增加蒸腾速率呈正相关增加。净光合速率与实测产量呈负相关,而气孔导度、胞间 CO_2 浓度、蒸腾速率与产量呈正相关。

表 3 光合指标与产量的相关性
Table 3 Correlation between photosynthesis index and yield

相关系数 Correlation coefficient	净光合速率 Pn	气孔导度 Gs	胞间 CO ₂ 浓度 Ci	蒸腾速率 Tr	实测产量 Yield
净光合速率 Pn	1.0000				
气孔导度 Gs	0.0300	1.0000			
胞间 CO ₂ 浓度 Ci	-0.93**	0.2400	1.0000		
蒸腾速率 Tr	0.0400	0.81**	0.2700	1.0000	
实测产量 Yield	-0.1600	0.4500	0.2000	0.1800	1.0000

注: ** $P < 0.01$ 。

3 结论与讨论

硅镁锌施用在最大量和最小量时利于净光合速率达到最小值,在 0 水平出现最大值。

经过模拟选优,当施肥量为硅肥 2 272.5 kg·hm⁻²、镁肥 1 728.0 kg·hm⁻²、锌肥 999.0 kg·hm⁻² 时,气孔导度达到最大值 0.95 μmol H₂O·m⁻²·s⁻¹。硅、镁、锌肥在 0 水平时能使气孔导度达到最大值。

当硅肥 2 272.5 kg·hm⁻²、镁肥 1 728 kg·hm⁻²、锌肥 999.0 kg·hm⁻² 时,胞间 CO₂ 浓度达到最大值 388.61 μmol CO₂·mol⁻¹,硅镁锌肥施用在最大量和最小量时能使胞间 CO₂ 浓度达到最大值。

蒸腾速率达到最大值 5.23 mmol H₂O·m⁻²·s⁻¹,相应的肥料施用量为硅肥 4 781.25 kg·hm⁻²、镁肥 3 600.00 kg·hm⁻²、锌肥 112.50 kg·hm⁻²。可能是由于施用硅肥就会在叶片表面形成硅层,使得气孔

开度较大,引起蒸腾速率的升高。

净光合速率与实测产量呈负相关,而气孔导度、胞间 CO₂ 浓度、蒸腾速率与产量呈正相关,气孔导度对产量的影响最大。

参考文献:

- [1] 赵凤民,马文东. 寒地水稻高产施肥技术概述[J]. 黑龙江农业科学,2007(6):41-42.
- [2] 张国良,戴其根,张洪程,等. 水稻硅素营养研究进展[J]. 江苏农业科学,2003(3):25-27.
- [3] 刘文国,王林权,白延红. 植物体有益元素硅的研究进展[J]. 西北植物学报,2003(12):2248-2253.
- [4] 张洪程,王夫玉. 中国水稻群体研究进展[J]. 中国水稻科学,2001(1):11-13.
- [5] 张国良,戴其根,王建武,等. 施硅量对粳稻品种武育粳 3 号品种和产量的影响[J]. 中国水稻科学,2007(3):12-13.
- [6] 卢维盛,李华兴,刘远金. 施硅对水稻产量和稻米品质的影响[J]. 华南农业大学学报,2002(1):31-33.
- [7] 李晓鸣. 矿质镁对水稻产量及品质影响的研究[J]. 植物营养与肥料学报,2002(1):21-22.

Effect of Different Rational Ratio of Silicon, Magnesium and Zinc on Photosynthesis and Yield of Rice

YIN Zhen-gong¹, LUAN Hai¹, YU Jin-hai¹, CONG Wan-biao¹, ZHANG Hong-qiang¹, FANG Ren-zhu¹, WANG Cui-juan²

(1. Crop Breeding Research Institute of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin, Heilongjiang 150086; 2. Beidahuang Kenfeng Seed Company Limited, Harbin, Heilongjiang 150090)

Abstract: The effect of different amount of silicon, magnesium and zinc on rice photosynthesis and yield were studied, using second orthogonal returnation rotation design program. The result showed that the net photosynthetic rate was negative correlative with yield. The stomatal conductance, intercellular CO₂ concentration and transpiration rate was positive correlative with yield. But, stomatal conductance impacted yield greatly most. The stomatal conductance will reach max while the three kind of fertilizers staying middle levels.

Key words: silicon; magnesium; zinc rice; photosynthesis; production