

引用格式:

阳树英, 王浩, 邹应斌, 李奎, 靳国靖, 吕广动. 氮硫互作对五常香稻产量和氮肥利用率的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2020, 46(2): 125-129.

YANG S Y, WANG H, ZOU Y B, LI K, JIN G J, LYU G D. Effects of nitrogen and sulfur fertilizer combinations on yield and nitrogen use efficiency of 'Wuchangxiangdao'[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2020, 46(2): 125-129.

投稿网址: <http://xb.hunau.edu.cn>



氮硫互作对五常香稻产量和氮肥利用率的影响

阳树英^{1,2}, 王浩¹, 邹应斌^{2*}, 李奎¹, 靳国靖¹, 吕广动^{1,2}

(1.湖南农业大学生物科学技术学院, 湖南 长沙 410128; 2.南方粮油作物协同创新中心, 湖南 长沙 410128)

摘要:以稻花香2号为材料, 设置3个氮(N)水平 N_1 (0 kg/hm²)、 N_2 (90 kg/hm²)、 N_3 (180 kg/hm²)和3个硫(S)水平 S_1 (0 kg/hm²)、 S_2 (45 kg/hm²)、 S_3 (90 kg/hm²), 配制9个氮硫互作组合, 进行完全随机试验, 研究不同施肥处理对五常香稻产量构成及氮肥利用率的影响。结果表明: 增施氮肥可显著提高有效穗数和每穗总粒数; 增施硫肥可显著提高结实率和千粒质量; 9个氮硫互作处理中, N_2S_2 的实际产量(7 583 kg/hm²)最高, 较 N_1S_1 增产56.3%, 氮肥利用率为60.0 kg/kg; 低氮高硫的 N_2S_3 和高氮低硫的 N_3S_2 均浪费氮肥, 增加水稻生产成本, 增加环境污染风险。综合分析, 90 kg/hm²施氮量和45 kg/hm²施硫量是五常香稻生产较理想的氮硫互作施肥模式。

关键词: 水稻; 稻花香2号; 氮硫互作; 产量; 产量构成因子; 氮肥增产效应; 氮肥利用率

中图分类号: S511.062 文献标志码: A 文章编号: 1007-1032(2020)02-0125-05

Effects of nitrogen and sulfur fertilizer combinations on the yield and nitrogen use efficiency of 'Wuchangxiangdao'

YANG Shuying^{1,2}, WANG Hao¹, ZOU Yingbin^{2*}, LI Kui¹, JIN Guojing¹, LYU Guangdong^{1,2}

(1. College of Bioscience and Biotechnology, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China; 2. Southern Regional Collaborative Innovation Center for Grain and Oil Crops in China, Changsha, Hunan 410128, China)

Abstract: In order to find the best nitrogen(N) and sulfur(S) fertilizer combinations to increase the yield of Wuchangxiangdao and improve the nitrogen use efficiency, the aromatic rice named Daohuaxiang 2 was selected, and 9 nitrogen and sulfur fertilizer combinations, N_1S_1 , N_1S_2 , N_1S_3 , N_2S_1 , N_2S_2 , N_2S_3 , N_3S_1 , N_3S_2 , N_3S_3 , were selected as 9 treatments. These treatment were grouped to 3 levels of nitrogen as N_1 (0 kg/hm²), N_2 (90 kg/hm²), N_3 (180 kg/hm²) and 3 levels of sulfur as S_1 (0 kg/hm²), S_2 (45 kg/hm²), S_3 (90 kg/hm²) by completely random design. The results showed that: (1) Nitrogen could increase the effective panicles and the number of the spiketlets per panicle; (2) with sulfur application, it can increase setting rate and the 1 000-grain weight significantly; (3) Among the 9 treatments, N_2S_2 could achieve the most highest rice yield of 7 583 kg/hm², the highest yield-increasing effect of nitrogen fertilizer, 56.3% and the highest nitrogen use efficiency, 60.0 kg/kg. Thus, the treatment N_2S_2 is the most ideal fertilizer application of the N×S interactions in Wuchang city for the cultivar of Daohuaxiang 2.

Keywords: rice; Daohuaxiang 2; nitrogen and sulfur fertilizer combinations; yield; yield components; the yield-increasing effect of nitrogen fertilizer; nitrogen use efficiency

收稿日期: 2019-07-02

修回日期: 2019-11-26

基金项目: 国家自然科学基金项目(31471446、30971724)

作者简介: 阳树英(1972—), 女, 湖南双峰人, 博士, 副教授, 主要从事水稻生理生态机制研究, ysyalxh@126.com; *通信作者, 邹应斌, 教授, 主要从事水稻栽培生理生态研究, ybzou123@126.com

黑龙江省五常市传统稻花香品种‘稻花香2号’,具有香气浓郁、抗病害等特点,且营养品质和蒸煮品质优良,深受消费者的青睐。稻花香2号种植的气候条件、地理条件和生态条件独特,昼夜温差大,有利于稻谷香味积累。目前,五常市稻花香2号种植面积约8.0万 hm^2 ,且逐年增长。由于农户生产上盲目追求产量,不合理的大量增施氮、磷、钾肥,导致其产量逐年下降;因此,寻求合理的肥料运筹模式是目前五常市水稻生产面临的重要问题之一。

孙冬梅等^[1]发现,黑龙江省土壤有机质与全氮存在极显著的相关关系,而氮素营养状况与水稻产量形成关系密切^[2-6]。水稻的有效穗数、每穗粒数和单位面积粒数都随着施氮量的增加而增加,并且表现为二次回归方程关系^[7-10];但氮肥施用量过高,会使植株增高、倒伏率提高,造成减产;过量施用氮肥还将导致温室气体 N_2O 的急剧增加和水体富营养化的加剧;因此,如何在保证五常香稻高产的同时提高氮素增产效应和氮素利用效率,降低氮素损失是农业生态研究的重要内容之一。

张永春等^[11]研究发现,硫包衣尿素较普通尿素增产明显;赵洪涛等^[12]研究认为,同等氮肥施用量下,施用硫肥可明显提高氮肥利用率;李娟等^[13]研究认为,硫有利于水稻结实率和千粒质量的提高;王旭等^[14]也认为,适度增施硫肥可加快水稻返青、分蘖、抽穗和成熟,可增加株高,提高分蘖率;也有研究^[15-16]表明,单施硫或者单施氮均能显著增加水稻有效穗数、穗粒数和实粒数,提高水稻产量,但氮硫互作增产效应不显著;TSUJIMOTO等^[17]研究发现,硫能放大增施氮肥所带来的增产效应,同时提高氮肥利用率。可见,氮、硫的施肥效果与氮硫互作效果与所处地区的环境、施肥水平等有关。本研究中,以五常地方香稻品种‘稻花香2号’为供试材料,比较分析不同氮、硫及其组合对五常香稻产量、产量构成及氮肥利用率的影响,以期找到理想的氮硫互作组合,提高五常香稻的产量和氮肥利用效率。

1 试验地基本概况

试验于2017年5—10月在黑龙江省五常市杜

家镇樊家屯水稻田进行。土壤类型为沙壤土。土壤基础肥力:有机质、全氮含量分别为59.87、1.85 g/kg ,速效氮、速效磷、有效钾含量分别为15.00、24.00、97.00 mg/kg 。pH值6.32。

2 材料与方法

2.1 材料

供试材料为五常市传统地方香稻品种‘稻花香2号’。

2.2 试验设计

试验设3个氮水平,即折合纯氮为0 kg/hm^2 (N_1)、90 kg/hm^2 (N_2)和180 kg/hm^2 (N_3);3个硫水平,即折合纯硫为0 kg/hm^2 (S_1)、45 kg/hm^2 (S_2)和90 kg/hm^2 (S_3)。共9个处理,其中 N_1S_1 为空白对照。每个处理1个小区,每个小区40 m^2 。氮肥为尿素(含氮46.67%),硫肥为硫磺粉(含硫99.0%)。硫肥在移栽前一次性施入。氮肥中基肥、分蘖肥、孕穗肥的施用比例为5:3:2,分蘖肥在移栽后7d施用,孕穗肥在穗分化期(枝梗分化期)施用;磷肥(P_2O_5)施用量90 kg/hm^2 ,钾肥(K_2O)施用量180 kg/hm^2 ,全部作基肥施用。小区间筑埂(宽40cm),并用塑料薄膜包裹,以防串水串肥。

2.3 测定项目与方法

水稻收获前,每个小区随机选取3个1 m^2 ,并在其中随机选取10穴植株,记录每穴的穗数,得到每平方米范围内的有效穗数;水稻收获时,每个小区任意选取3个1 m^2 ,并随机选取10穴植株,带回实验室,统计结实率和千粒质量,计算理论产量;水稻收获时,分小区测定实际产量。根据公式 $A=(Y_1 - Y_0)/Y_0 \times 100\%$ 和 $B=(Y_1 - Y_0)/C \times 100\%$ 分别计算氮肥增产效益和氮肥利用率。式中:A为氮肥增产效益; Y_1 为施氮肥处理的实际产量; Y_0 为未施氮肥处理的实际产量;B为氮肥利用率;C为施氮肥量。

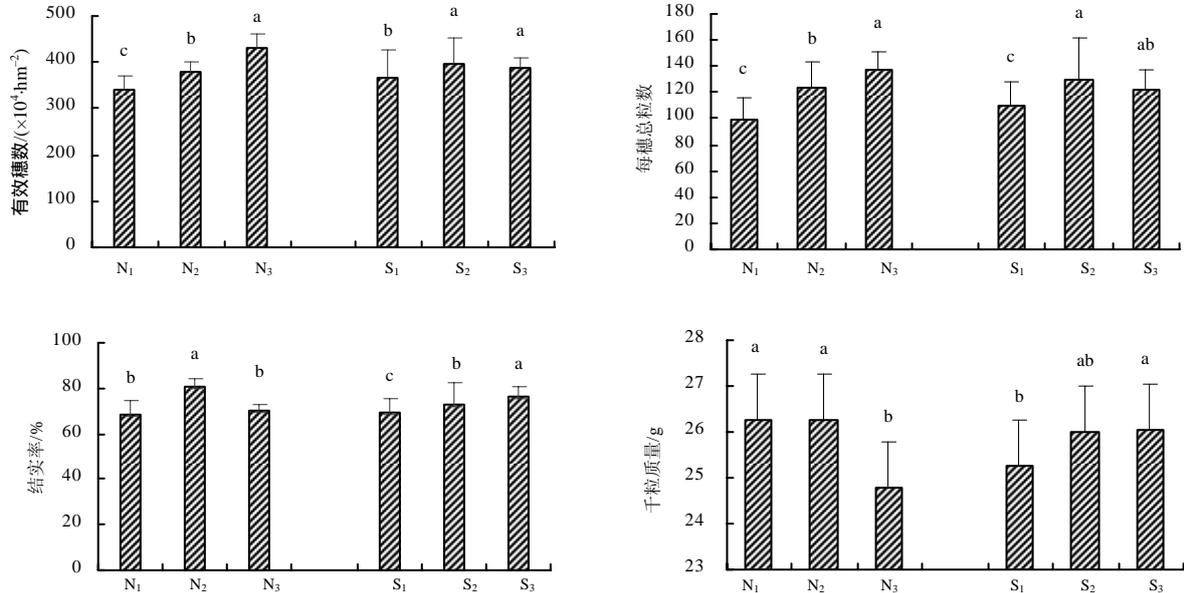
2.4 数据处理

采用IBM SPSS 19.0X进行双因素方差分析。

3 结果与分析

3.1 氮、硫对香稻产量构成因素的影响

由图 1 可知，所有施肥处理的有效穗数、每穗



不同小写字母表示不同施氮水平或不同施硫水平间差异显著 ($P < 0.05$)。

图1 不同氮、硫施肥水平水稻的产量构成因素

Fig.1 The yield components of rice under different nitrogen and sulfur application rates

3.2 氮、硫对香稻产量及其构成因素的影响

从表 1 可知，水稻的有效穗数、每穗总粒数和理论产量均与氮肥的施用量呈显著正相关；水稻的有效穗数、结实率、千粒质量与硫肥施用量呈显著正相关；氮肥和硫肥的交互作用主要影响水稻的有

总粒数均显著高于空白对照，且随着施氮水平的增加，有效穗数和每穗总粒数显著增加 ($P < 0.05$)。结实率和千粒质量随施硫量的增加而增加。

效穗数和千粒质量。鉴于双因素分析结果理论产量与氮元素呈极显著关系，而实际产量只与硫元素极显著相关；因此，有必要进一步对 9 个氮硫互作的处理进行完全随机比较分析，以明确氮硫互作对水稻产量及产量构成因素的影响。

表1 氮、硫及氮硫互作与产量及产量构成因素的方差显著性分析结果

因素	df	方差显著性					
		有效穗数	每穗总粒数	结实率	千粒质量	理论产量	实际产量
N	2	67.92***	9.62***	1.86	3.57	6.41**	1.56
S	2	9.63***	2.84	1.94*	3.65*	3.26*	2.28**
N \times S	4	6.94***	1.97	0.67	5.98**	0.86	1.89

示 0.05 水平下差异显著；**示 0.01 水平下差异显著；*示 0.001 水平下差异显著。

3.3 不同氮硫施肥组合对香稻产量及产量构成因素的影响

从表 2 可以看出，与 N₁S₁ 比较，N₃S₂ 显著提高了稻花香 2 号的有效穗数和每穗总粒数，N₂S₂ 则显著提高了稻花香 2 号的千粒质量、理论产量和实际产量，说明施用氮肥和硫肥对香稻均有显著增产作用。与 N₁S₁ 的实际产量比较，N₁S₂、N₁S₃ 分别增

产 3.6% 和 28.7%，N₂S₁、N₃S₁ 分别增产 7.9% 和 30.0%，说明不施氮肥下，产量随硫肥的增加而显著增产；不施硫肥下，实际产量均随施氮量的增加而显著增加。氮硫中等施肥处理 (N₂S₂) 的实际产量最高 (7 583 kg/hm²)，显著高于其他处理；单施最高水平的氮肥 (N₃S₁) 或硫肥 (N₁S₃) 或高氮高硫施肥处理 (N₃S₃) 的实际产量也较高，分别达 6 087、6 026 和 6 105 kg/hm²。

表2 不同施肥处理的产量及产量构成因素

Table 2 Yield and yield components of rice under different treatments

处理	有效穗数/($\times 10^4 \cdot \text{hm}^{-2}$)	每穗总粒数	结实率/%	千粒质量/g	理论产量/($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	实际产量/($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)
N_1S_1	(205.50 \pm 4.50) F	(87.60 \pm 23.40)E	(83.85 \pm 8.66)A	(26.06 \pm 0.42)A	(3 933 \pm 783)G	(4 682 \pm 1128)E
N_1S_2	(235.50 \pm 16.50) E	(93.50 \pm 20.50)D	(76.15 \pm 4.77)AB	(26.20 \pm 0.55)A	(4 393 \pm 1574)F	(4 851 \pm 930)DE
N_1S_3	(243.00 \pm 12.00)DE	(117.80 \pm 11.90)C	(81.41 \pm 3.63)AB	(26.52 \pm 0.13)A	(6 180 \pm 887)CD	(6 026 \pm 626)BC
N_2S_1	(237.00 \pm 9.00) DE	(115.40 \pm 12.40)BC	(66.38 \pm 7.07)CD	(25.94 \pm 0.68)AB	(4 709 \pm 759)E	(5 052 \pm 920)DE
N_2S_2	(256.50 \pm 7.50) CD	(146.00 \pm 7.30)AB	(72.78 \pm 6.68)D	(26.53 \pm 0.19)A	(7 230 \pm 507)A	(7 583 \pm 617)A
N_2S_3	(267.00 \pm 12.00)C	(110.00 \pm 4.00)CD	(75.38 \pm 10.64)B	(26.29 \pm 0.47)A	(5 820 \pm 1031)D	(5 250 \pm 251)D
N_3S_1	(288.00 \pm 7.50)AB	(124.80 \pm 16.10)BC	(69.36 \pm 4.20)C	(23.80 \pm 0.21)C	(5 933 \pm 1509)B	(6 087 \pm 1194)BC
N_3S_2	(307.50 \pm 12.00) A	(130.30 \pm 30.20)A	(60.61 \pm 6.10)CD	(25.27 \pm 0.34)B	(6 136 \pm 1539)CD	(5 535 \pm 945)C
N_3S_3	(270.00 \pm 12.00)BC	(139.10 \pm 25.60)B	(73.17 \pm 11.21)BC	(25.29 \pm 0.32)B	(6 950 \pm 1971)C	(6 105 \pm 1104)B

同列不同大写字母表示处理间差异极显著($P < 0.01$)。

3.4 不同氮硫施肥组合的增产效应与氮肥利用率的比较

由表 2 可知,以 N_1S_1 为对照, N_2S_1 的增产率为 7.9%;以 N_2S_1 为对照, N_3S_1 的增产率 20.5%;以 N_1S_2 为对照, N_2S_2 的增产率 56.3%;以 N_2S_2 为对照, N_3S_2 的增产率-27.0%;以 N_1S_3 为对照, N_2S_3 的增产率-12.9%;以 N_2S_3 为对照, N_3S_3 的增产率 16.3%;可见,施硫 90 kg/hm^2 ,需要高氮水平(N_3)才能增产。

由图 2 可知,以 N_1S_1 为对照, N_2S_1 的氮肥利用率 8.22 kg/kg , N_3S_1 的氮肥利用率 11.5 kg/kg , N_2S_2 的氮肥利用率 60.0 kg/kg ; N_2S_3 和 N_3S_2 的氮肥利用率均为负值。

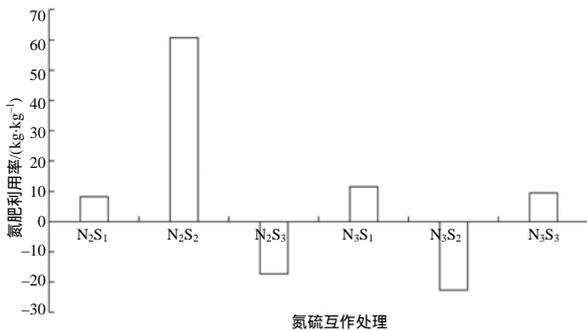


图2 氮硫互作处理的氮肥利用率

Fig.2 The nitrogen utilization efficiency among the treatments of $N \times S$ interactions

4 结论与讨论

本研究中,增施氮肥能显著提高有效穗数和每穗总粒数,这与前人的研究结果^[7-8,14-18]基本一致。

虽然增施氮肥可提高营养器官氮素向籽粒的转移量,但转移率会降低,过多的氮素滞留在营养器官中,导致氮素收获系数降低,氮素利用率偏低^[19-21]。李贵勇等^[22]认为,减少施氮量可以提高氮肥利用率,但氮肥用量太少,不利于产量的提高。S 素是植物的必需营养元素之一,不仅能改善水稻营养状况,对水稻重金属和 P 吸收也有重要调控作用^[23];有利于千粒质量的增加、产量的提升和氮肥利用率的提高^[24-25]。本研究结果表明,施硫能显著增加水稻的结实率和千粒质量。

本研究的 9 个处理中, N_2S_2 的实际产量最高,为 7 583 kg/hm^2 ,增产率最高,达 56.3%,且氮肥利用率也最高,达 60.0 kg/kg ;低氮高硫的 N_2S_3 和高氮低硫的 N_3S_2 处理虽然产量较高,但均造成氮肥浪费,增加水稻生产成本,增加环境污染风险;因此, N_2S_2 是五常香稻生产较理想的氮硫互作施肥模式。

参考文献:

[1] 孙冬梅,陈学昌.黑龙江省土壤有机质与全氮和碱解氮的相关分析[J].黑龙江八一农垦大学学报,1995,7(2):57-60.
SUN D M, CHEN X C. Correlation analysis of soil organic matter, total nitrogen and available nitrogen in Heilongjiang Province[J]. Journal of Heilongjiang August First Land Reclamation University, 1995, 7(2): 57-60.

[2] 彭建伟,丁哲利,刘强,等.施氮模式对早稻农艺性状及氮肥利用率的影响[J].湖南农业大学学报(自然科学版),2010,36(2):224-228.
PENG J W, DING Z L, LIU Q, et al. Effects of different nitrogen management models on agronomic characters

- and nitrogen fertilizer utilization efficiency of early rice[J]. *Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences)*, 2010, 36(2): 224–228.
- [3] 王朋, 刘辉, 陈晓丽. 施氮量对两系杂交水稻产量和品质的影响[J]. *耕作与栽培*, 2006(5): 33–35.
WANG P, LIU H, CHEN X L. Effect of nitrogen application rate on yield and quality of two-line hybrid rice[J]. *Tillage and Cultivation*, 2006(5): 33–35.
- [4] 周瑞庆, 萧光玉, 汪大明, 等. 施肥量对水稻产量及产量构成因素的影响[J]. *作物研究*, 1992, 6(S1): 21–26.
ZHOU R Q, XIAO G Y, WANG D M, et al. Effect of nitrogen application on yield and yield components of rice[J]. *Crop Research*, 1992, 6(S1): 21–26.
- [5] 吴朝晖, 青先国, 袁隆平. 热带生态区不同施氮水平对超级杂交稻产量及生长发育的影响[J]. *湖南农业大学学报(自然科学版)*, 2008, 34(6): 713–718.
WU Z H, QING X G, YUAN L P. Effect of N at different levels on super hybrid rice yield and growth in tropical ecological zones[J]. *Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences)*, 2008, 34(6): 713–718.
- [6] 刘艳阳, 张洪程, 宋浩, 等. 不同地力条件下施氮量对水稻产量的影响[J]. *浙江农业科学*, 2000(3): 300–303.
LIU Y Y, ZHANG H C, SONG H, et al. Effect of nitrogen application rate on rice yield under different soil fertility[J]. *Journal of Zhejiang Agricultural Sciences*, 2000(3): 300–303.
- [7] 赵越. 施氮量对水稻产量的影响[J]. *安徽农业科学*, 2009, 37(19): 8937–8938.
ZHAO Y. Effect of amount of N-fertilizer on yield of rice[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2009, 37(19): 8937–8938.
- [8] 张耀鸿, 张亚丽, 黄启为, 等. 不同氮肥水平下水稻产量以及氮素吸收、利用的基因型差异比较[J]. *植物营养与肥料学报*, 2006, 12(5): 616–621.
ZHANG Y H, ZHANG Y L, HUANG Q W, et al. Effects of different nitrogen application rates on grain yields and nitrogen uptake and utilization by different rice cultivars[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2006, 12(5): 616–621.
- [9] 马波. 氮肥运筹对寒地香稻绥粳 4 号产量及叶面积指数的影响[J]. *黑龙江农业科学*, 2017(2): 48–50.
MA B. Influence of nitrogen application on yield and LAI of aromatic Japonica rice suijing 4 in cold region[J]. *Heilongjiang Agricultural Sciences*, 2017(2): 48–50.
- [10] STEWART W M, ROBERTS T L. Food security and the role of fertilizer in supporting it[J]. *Procedia Engineering*, 2012, 46: 76–82.
- [11] 张永春, 汪吉东, 梁永红, 等. 硫包衣尿素对水稻的增产效应及氮素利用率的影响研究[J]. *水土保持学报*, 2007, 21(4): 108–111.
ZHANG Y C, WANG J D, LIANG Y H, et al. Effect of sulfur-coated urea on growth and nitrogen use efficiency of rice[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2007, 21(4): 108–111.
- [12] 赵洪涛, 周健民, 范晓晖, 等. 太湖地区主要类型水稻土上施用不同硫肥对水稻氮、硫吸收的影响[J]. *土壤学报*, 2006, 43(5): 864–867.
ZHAO H T, ZHOU J M, FAN X H, et al. Effect of different sulphur fertilizers on uptake and use efficiency of nitrogen and sulphur by rice in the paddy fields of Taihu lake area[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2006, 43(5): 864–867.
- [13] 李娟, 林琼, 陈子冲, 等. 不同供硫水平对水稻生长和养分吸收的影响[J]. *中国农学通报*, 2006, 22(11): 214–217.
LI J, LIN Q, CHEN Z C, et al. Effect of different levels of sulfur on rice growth and nutrients absorption[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2006, 22(11): 214–217.
- [14] 王旭, 杨成林, 王丽妍, 等. 不同硫肥水平对水稻产量和品质的影响[J]. *北方水稻*, 2012, 42(3): 17–20.
WANG X, YANG C L, WANG L Y, et al. Effect of different levels of sulfur fertilizer on yield and quality of rice[J]. *North Rice*, 2012, 42(3): 17–20.
- [15] 徐金仁, 雷幼娥, 林祖旺, 等. 不同硫肥用量对水稻农艺性状及产量的影响[J]. *现代农业科技*, 2010(11): 46.
XU J R, LEI Y E, LIN Z W, et al. Effects of different sulfur fertilizer application on agronomic characters and yield of rice[J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2010(11): 46.
- [16] 刘光荣, 袁福生, 李祖章, 等. 氮硫配施对水稻的效应研究[J]. *江西农业学报*, 2001, 13(2): 1–7.
LIU G R, YUAN F S, LI Z Z, et al. Study on interactive effect of nitrogen and sulfur on rice[J]. *Acta Agriculturae Jianxi*, 2001, 13(2): 1–7.
- [17] TSUJIMOTO Y, INUSAH B, KATSURA K, et al. The effect of sulfur fertilization on rice yields and nitrogen use efficiency in a floodplain ecosystem of northern Ghana[J]. *Field Crops Research*, 2017, 211: 155–164.
- [18] 周亮, 荣湘民, 谢桂先, 等. 不同氮肥施用对双季稻产量及氮肥利用率的影响[J]. *土壤*, 2014, 46(6): 971–975.
ZHOU L, RONG X M, XIE G X, et al. Effects of different nitrogen fertilizers on rice yield and nitrogen use efficiency[J]. *Soils*, 2014, 46(6): 971–975.