

邹永翠, 谢必武, 张 甲, 等. 优质特种稻瑞市 9 号的优化施肥措施[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(5): 76-79.

# 优质特种稻瑞市 9 号的优化施肥措施

邹永翠<sup>1</sup>, 谢必武<sup>1</sup>, 张 甲<sup>2</sup>, 晏承兴<sup>2</sup>

(1. 重庆三峡职业学院, 重庆 404155; 2. 重庆三峡农业科学院, 重庆 404155)

**摘要:**以优质特种稻新品种瑞市 9 号为材料, 采用三因素二次正交回归旋转组合设计的方法研究施用尿素、过磷酸钙、速效硅肥的单因素主效应、边际产量效应及 2 因素交互效应与产量之间的关系, 建立了产量与因素间的数学函数模型。结果表明, 施用过磷酸钙增产效果最明显, 其次是硅肥和尿素, 瑞市 9 号产量要达到 8 250 kg/hm<sup>2</sup> 以上的最佳施肥量为: 尿素 232.05 ~ 282.30 kg/hm<sup>2</sup>, 过磷酸钙 636.75 ~ 785.25 kg/hm<sup>2</sup>, 速效硅肥 106.05 ~ 157.20 kg/hm<sup>2</sup>; 要获得最高产量(10 260.15 kg/hm<sup>2</sup>), 则应施用氮肥 220.5 kg/hm<sup>2</sup>、磷肥 668.40 kg/hm<sup>2</sup>、硅肥 134.25 kg/hm<sup>2</sup>。

**关键词:**特种稻瑞市 9 号; 施肥措施; 产量; 模型  
**中图分类号:**S511.06      **文献标志码:**A      **文章编号:**1002-1302(2014)05-0076-03

瑞市 9 号系香稻 2 号与 MR3232 杂交后代系谱选育而成的, 属中籼迟熟常规优质水稻, 由重庆三峡农业科学研究所种子开发公司与重庆三峡农业科学院选育, 于 2012 年 3 月通过重庆市农作物新品种审定(审定编号: 渝审稻 2013010)。瑞市 9 号在生产上表现为产量高、米质优、抗性较强, 目前正大面积示范推广。水稻的正常生长发育, 对氮、磷、钾及硅的需求量很高, 很多研究人员对水稻优化栽培施肥措施进行了系列研究<sup>[1-8]</sup>, 但是对优质稻瑞市 9 号的优化施肥措施未见报道。在实际生产过程中, 农民对氮磷肥的施用非常重视, 常常造成氮磷肥施用量偏高或比例不当, 同时由于作物产量不断提高, 土壤硅素流失量增加, 土壤硅素供应不平衡问题日趋严重, 因此根据三峡库区土壤实际情况, 为探寻瑞市 9 号高产配方施肥措施、挖掘该新品种的生产潜力以及大面积推广应用提供技术指导, 笔者于 2012 年 3—9 月采用三因素二次正交回归旋转组合设计<sup>[9-10]</sup>, 研究氮肥、磷肥及硅肥施用量的相关性, 模拟、筛选施肥量单元, 建立各因素与产量指标间的数学模型, 确立瑞市 9 号高产栽培最佳施肥方案, 并于 2013 年 3—9 月对优化施肥方案进行验证, 效果明显。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验田块设在重庆三峡职业学院实习实训基地, 即九龙科技园, 海拔高度 250 m, 土壤为黄壤, 黏土, pH 值 6.5, 有机质含量 0.85%, 全氮含量 0.09%, 碱解氮含量 53.5 mg/kg, 速效磷含量 14.88 mg/kg, 速效钾含量 92.5 mg/kg。

### 1.2 供试材料

试验水稻为优质水稻瑞市 9 号。试验肥料: 氮肥用尿素(含 N 46%), 磷肥用过磷酸钙(含 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 16%), 硅肥用速效硅

肥(含 SiO<sub>2</sub> 50%)。

### 1.3 试验方法

试验以产量为目标函数, 选择施尿素量( $x_1$ )、过磷酸钙量( $x_2$ )、速效硅肥量( $x_3$ )为可控变量, 采用三元二次正交回归旋转组合设计<sup>[8-9]</sup>, 其变量设计水平及编码值见表 1。共设计 23 个试验小区, 每个小区面积为 6.67 m<sup>2</sup>, 每个处理均重复 3 次, 随机区组排列, 小区四周设保护行, 小区之间留走道, 栽插规格为 4 cm × 40 cm。各小区单独收获, 分别测产, 取 3 次重复平均值。

表 1 三因素二次回归正交旋转组合变量设计水平及编码值

水平及 编码值	各因素施用量(kg/hm <sup>2</sup> )		
	$x_1$ : 尿素	$x_2$ : 过磷酸钙	$x_3$ : 速效硅肥
-1.682	0	0	0
-1	82.2	182.4	42.6
0	202.5	450.0	105.0
1	322.8	717.6	167.4
1.682	405.0	900.0	210.0

试验施肥方法: 磷肥和硅肥全部作基肥施用; 氮肥分基肥、分蘖肥和穗肥, 按照 4 : 4 : 2 的比例施用; 其他施肥管理措施按常规优质稻栽培技术执行。

### 1.4 土壤养分测定方法

土壤有机质含量采用重铬酸钾氧化法测定, 全氮含量采用半微量开氏法测定, 碱解氮含量用扩散法测定, 速效磷含量用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法测定, 速效钾含量采用醋酸铵浸提-火焰光度计法测定。

### 1.5 试验数据分析

采用 DPS 处理系统及 Excel 2003 分析数据。

## 2 结果与分析

### 2.1 产量函数与因素间模型的建立及检验

瑞市 9 号产量结果见表 2, 通过 DPS 数据处理系统获得该品种在各种措施条件下产量与因素间的函数模型:

$$y = 9\,341.46 + 371.59x_1 + 842.23x_2 + 490.01x_3 - 1\,132.78x_1^2 - 377.33x_2^2 - 430.10x_3^2 + 519.56x_1x_2 - 32.81x_1x_3 + 75.56x_2x_3 \quad (1)$$

收稿日期: 2014-01-06  
基金项目: 重庆市教育委员会科学技术研究项目(编号: KJ131901)。  
作者简介: 邹永翠(1965—), 女, 重庆人, 讲师, 从事土壤与作物营养研究。E-mail: zyc628@163.com。  
通信作者: 谢必武, 教授, 从事作物栽培研究。E-mail: 510993461@qq.com。

表 2 三因素二次回归正交旋转组合设计试验产量结果表

编号	$x_1$	$x_2$	$x_3$	产量 (kg/hm <sup>2</sup> )
1	-1	-1	-1	6 142.5
2	-1	-1	1	7 204.5
3	-1	1	-1	7 173.0
4	-1	1	1	8 614.5
5	1	-1	-1	5 725.5
6	1	-1	1	6 733.5
7	1	1	-1	8 911.5
8	1	1	1	10 144.5
9	-1.682	0	0	5 082.0
10	1.682	0	0	6 684.0
11	0	-1.682	0	7 287.0
12	0	1.682	0	8 752.5
13	0	0	-1.682	7 291.5
14	0	0	1.682	8 449.5
15	0	0	0	7 291.5
16	0	0	0	9 820.5
17	0	0	0	9 273.0
18	0	0	0	10 009.5
19	0	0	0	9 846.0
20	0	0	0	9 648.0
21	0	0	0	9 942.0
22	0	0	0	9 424.5
23	0	0	0	8 905.5

对回归模型(1)进行  $F$  检验,失拟均方  $F_1 = 0.707\ 2 < F_{0.05} = 3.68$ ,回归均方  $F_2 = 7.342\ 1 > F_{0.01} = 4.19$ ,说明未控因素对试验处理的影响不显著,试验所建立的二次方程与实测值拟合程度较好,3 个因素对产量之间的密切程度达到极显著水平。

对模型(1)中的  $x_1$ 、 $x_2$ 、 $x_3$  均方进行检测,剔除不显著项,获得最优回归方程:

$$y = 9\ 341.46 + 842.23x_2 + 490.01x_3 - 1\ 132.78x_1^2 - 377.33x_2^2 - 430.10x_3^2 + 519.56x_1x_2 \quad (2)$$

回归方程(2)的确定系数  $R^2$  为 0.933 7,说明不同氮肥、磷肥、硅肥的配方对水稻产量的影响达到 93%,为极显著水平;复相关系数  $R$  为 0.966 3,大于  $R_{0.01,19}(0.665)$ ,达到极显著水平,说明回归模型与实测值拟合较好,3 种肥料的施用量与水稻产量间存在明显的函数关系,因此利用已建立的最优回归方程就可以计算出该试验肥料施用量的预测值,可以对各因素的主效应及 2 个因素的交互效应等作进一步的分析,为规范化技术措施提供依据。

2.2 模型的解析与寻优

由于二次回归正交旋转组合设计具有正交性,各变异来源间相互独立,可以采用降维法固定 2 个因素为 0 水平,从而获得某个单因素与产量间的数学模型,以及 2 个因素的交互作用效应,研究各因素水平的最佳搭配。

2.2.1 单因素效应分析 采用降维法分别将模型(1)中某 2 个变量固定在 0 水平,从而得到下列子模型:

$$\begin{cases} y_1 = 9\ 341.46 + 371.59x_1 - 1\ 132.78x_1^2 \\ y_2 = 9\ 341.46 + 842.23x_2 - 377.33x_2^2 \\ y_3 = 9\ 341.46 + 490.01x_3 - 430.10x_3^2 \end{cases}, \quad (3)$$

将各试验处理编码值代入函数(3),求得的结果见表 3。

由表 3 可以看出,  $CV_{\text{氮肥}} > CV_{\text{磷肥}} > CV_{\text{硅肥}}$ ,可见氮肥是影响产量的主要因子,磷肥次之。说明增施氮肥、磷肥和硅肥都能起到增产作用,其中以氮肥施用效果最好。而氮肥、磷肥和硅肥的二次项均为负值,说明这 3 种肥料效应曲线为抛物线,都有一个合理的施肥范围(图 1)。

表 3 不同水平下各试验因素的产量及变异系数

水平	产量(kg/hm <sup>2</sup> )		
	氮肥	磷肥	硅肥
-1.682	5 568.45	6 595.50	7 356.75
-1	8 062.80	8 212.80	8 647.20
0	9 660.15	9 660.15	9 660.15
1	8 806.05	10 008.00	9 627.15
1.682	6 818.40	9 614.85	9 004.95
变异系数 CV(%)	20.80	16.10	9.52

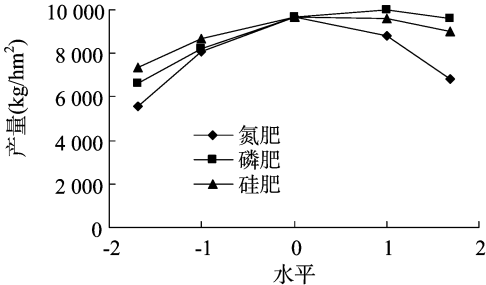


图1 氮、磷、硅肥主效应分析结果

由图 1 可以看出,施用氮肥曲线斜率在 -1.682~0 水平间最大,增产效果最明显,但当氮肥施用超过 0 水平时,曲线斜率变为负值,其二次项为 -1 132.78,达到极显著水平,说明水稻施肥时必须控制氮肥的施用量,超过一定的施用量,水稻产量会降低。磷肥和硅肥抛物线均在氮肥上方,其斜率比氮肥小,其极值比氮肥大,其中磷肥极值最大。说明超过一定的施用量后,施用磷肥的增产效果最明显;其次是硅肥;氮肥增产效果最小。

2.2.2 边际产量分析 对产量模型(3)求导,并令其他 2 个因素为 0 水平,获得单因素边际效应模型:  $dy_1/dx_1 = 371.59 - 2\ 265.56x_1$ ;  $dy_2/dx_2 = 842.23 - 754.66x_2$ ;  $dy_3/dx_3 = 490.01 - 860.2x_3$ 。将肥料各水平编码值分别代入上述相应的模型中,得到表 4。

由表 4 可以看出,氮肥、磷肥和硅肥在不同施肥水平时,对水稻产量增加的影响不同。在 -1.682 水平,肥料对水稻产量影响的大小顺序为氮肥>磷肥>硅肥;在 0 水平时,各肥料对水稻产量的影响顺序却为磷肥>硅肥>氮肥。说明施肥水平不同,氮肥、磷肥和硅肥对水稻产量的影响程度也不同。

表 4 各种肥料不同水平下的边际产量

水平	边际产量(kg/hm <sup>2</sup> )		
	氮肥	磷肥	硅肥
-1.682	4 182.262	2 111.568	1 936.866
-1	2 637.150	1 596.890	1 350.210
0	371.590	842.230	490.010
1	-1 893.970	87.570	-370.190
1.682	-3 439.080	-427.108	-956.846

令  $dy/dx=0$ , 可以获得最高产量时肥料单独施用的最适量, 即  $x_1=0.16, x_2=1.12, x_3=0.57$ , 由此可以得到施肥量为: 氮肥 221.7 kg/hm<sup>2</sup>, 磷肥 749.7 kg/hm<sup>2</sup>, 硅肥 140.6 kg/hm<sup>2</sup>, 此时可获得水稻最高产量, 为 10 260.15 kg/hm<sup>2</sup>。

2.2.3 三因素的交互效应分析 利用已经建立的 3 因素数学模型(1), 固定任意一个因子为 0 水平, 求出另外 2 个因素对产量的交互效应方程:

$$\begin{cases} y_{12}=9\,341.46+371.59x_1+842.23x_2-1\,132.78x_1^2-377.33x_2^2+519.56x_1x_2 \\ y_{13}=9\,341.46+371.59x_1+490.01x_3-1\,132.78x_1^2-430.10x_3^2-32.81x_1x_3 \\ y_{23}=9\,341.46+842.23x_2+490.01x_3-377.33x_2^2-430.10x_3^2+75.56x_2x_3 \end{cases} \quad (4)$$

根据 3 因素的交互效应方程(4) 分别作响应曲面图, 由图 2、图 3、图 4 可以看出, 在编码范围内, 试验区种植水稻均表现为正交互效应, 效应曲面图均为凸面形, 表明两两肥料之间的增产效应均为报酬递减。

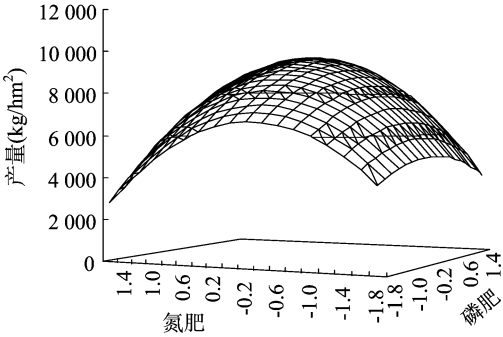


图2 水稻施氮肥与磷肥交互效应曲面图示

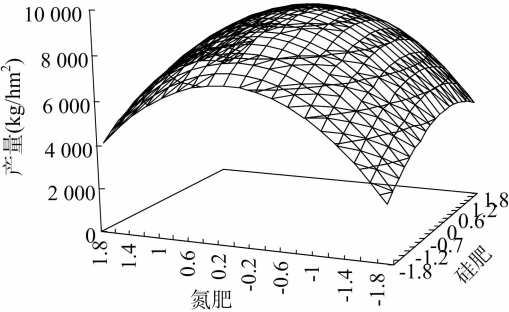


图3 水稻施氮肥与硅肥交互效应曲面图示

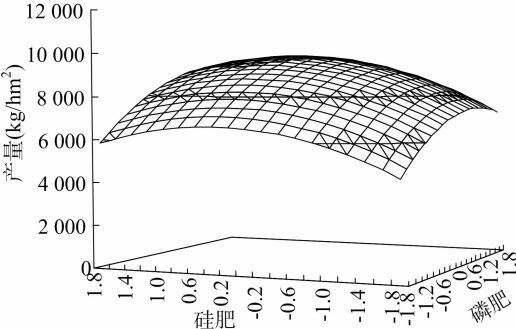


图4 水稻施磷肥与硅肥交互效应曲面图示

2.2.4 最佳产量模型优化

2.2.4.1 最佳产量模型寻优 在  $-1.682 \leq x \leq 1.682$  水平下, 共有 125 套施肥方案, 当  $x_1, x_2, x_3$  均取 0 水平时, 代入式(1) 中, 水稻理论产量是 10 260.15 kg/hm<sup>2</sup>。

假设水稻的最高产量是 8 189 kg/hm<sup>2</sup>, 对上述 125 个方案理论产量进行统计, 理论产量大于 8 189 kg/hm<sup>2</sup> 的处理共有 25 个, 对这 25 个处理各因素水平出现的次数分别进行统计, 结果如表 5、表 6 所示。

表 5 目标产量≥8 189 kg/hm<sup>2</sup> 施肥方案中肥料取值频率分布情况

水平	$x_1$		$x_2$		$x_3$	
	次数	频率(%)	次数	频率(%)	次数	频率(%)
-1.682	0	0	0	0	0	0
-1	3	12	0	0	5	20
0	12	48	8	32	7	28
1	10	40	9	36	8	32
1.682	0	0	8	32	5	20
合计	25	100	25	95	25	100

表 6 各肥料水平取值统计情况

肥料	编码值			施用量 (kg/hm <sup>2</sup> )
	平均值	标准差	95% 置信区间	
氮肥	0.455	0.133	0.020 ~ 0.540	202.5 ~ 322.8
磷肥	0.898	0.135	0.633 ~ 1.164	450.0 ~ 900.0
硅肥	0.456	0.187	0.089 ~ 0.824	105.0 ~ 167.4

由表 5、表 6 可知, 水稻产量在 8 189 kg/hm<sup>2</sup> 以上时, 氮肥和硅肥施用水平在 0 ~ 1 之间取值的频率最大, 而磷肥施用水平在 0 ~ 1.682 之间时频率最大, 即在施氮肥 202.5 ~ 322.8 kg/hm<sup>2</sup>、磷肥 450.0 ~ 900.0 kg/hm<sup>2</sup>、硅肥 105.0 ~ 167.4 kg/hm<sup>2</sup> 时, 有 95% 的把握可以使水稻瑞市 9 号产量 ≥ 8 189 kg/hm<sup>2</sup>。

2.2.4.2 模型的优化 在大面积生产实践中, 可以通过置信区间计算出可靠的施肥量。由表 5、表 6 可知, 优质水稻品种瑞市 9 号栽培产量在 8 189 kg/hm<sup>2</sup> 以上时, 最佳施肥方案为: 尿素 2 04.91 ~ 267.46 kg/hm<sup>2</sup>, 过磷酸钙 619.39 ~ 761.49 kg/hm<sup>2</sup>, 速效硅肥 110.56 ~ 156.44 kg/hm<sup>2</sup>。根据边际效应分析结果可知, 最高施肥量编码值  $x_1=0.16, x_2=1.12, x_3=0.57$ , 最高产量  $y$  为 10 260.15 kg/hm<sup>2</sup>, 即施用氮肥 221.7 kg/hm<sup>2</sup>、磷肥 749.7 kg/hm<sup>2</sup>、硅肥 140.6 kg/hm<sup>2</sup>, 就可使水稻产量最高 (10 260.15 kg/hm<sup>2</sup>)。

2.2.4.3 示范效果信息反馈 为了验证上述优化施肥方案, 2013 年 3—9 月在重庆梁平县仁贤镇进行了示范种植 (0.13 hm<sup>2</sup>), 在底肥深施腐熟有机肥 15 000 kg/hm<sup>2</sup> 的基础上, 施用尿素 (N 46%) 240 kg/hm<sup>2</sup>、过磷酸钙 (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 16%) 750 kg/hm<sup>2</sup>、速效硅肥 (SiO<sub>2</sub> 50%) 150 kg/hm<sup>2</sup>, 获得了 8 970 kg/hm<sup>2</sup> 的产量。

3 结论

在一定的生产条件和生态条件下, 为了获得高产, 必须合理施肥, 运用回归设计的理论与方法建立数学模型, 其目的就是通过对数字模拟法将一般的“合理”施肥予以数量化, 调整施

吴英姿,胡继超,张雪松,等. 环境因子对水稻叶片水分利用效率的影响[J]. 江苏农业科学,2014,42(5):79-82.

# 环境因子对水稻叶片水分利用效率的影响

吴英姿, 胡继超, 张雪松, 张富存, 刘 斌

(南京信息工程大学应用气象学院/江苏省农业气象重点实验室, 江苏南京 210044)

**摘要:**在水稻不同生育期测定了不同环境因子控制下的水稻叶片光合速率、蒸腾速率,并计算出其叶片水分利用效率,分析了  $\text{CO}_2$  浓度、高温、光强、土壤水分等环境因子变化对水稻叶片水分利用效率的影响,结果表明:水稻 LWUE 随  $\text{CO}_2$  浓度增加呈极显著的二次曲线变化, $\text{CO}_2$  浓度增加有利于水稻 LWUE 的提高。当光强高于  $1\,000\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  时,随着光强的增强,两优培九的 LWUE 降低幅度比南粳 44 大。2 个水稻品种 LWUE 各时期日变化规律较为相似,曲线总体呈“L”形。适当的土壤水分亏缺有利于提高水稻 LWUE。

**关键词:**水稻;叶片水分利用效率;环境因子

**中图分类号:** Q945.78;S511.01

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1002-1302(2014)05-0079-04

水分利用效率(water use efficiency, WUE)指作物消耗单位水分所生产的干物质量。作物水分利用效率包括产量、群体、叶片 3 个水平。叶片水平上的水分利用效率(LWUE)以净光合速率( $P_n$ )与蒸腾速率( $T_r$ )之比( $P_n/T_r$ )来表示。随着经济的发展,我国南方稻区水质性缺水、水稻生长季内季节性干旱状况未见好转,已有较多学者研究了不同稻田水分管理方式对水稻水分利用率的影响<sup>[1-4]</sup>。研究表明,适度旱作能提高作物水分利用效率<sup>[2]</sup>。水稻干湿交替灌溉水分利用率比旱作及传统淹灌水分利用率更高<sup>[5-6]</sup>。覆盖旱作也有利于提高水稻水分利用率<sup>[5-10]</sup>。研究人员认为,在作物的

不同生育阶段,干旱对产量、水分利用效率的影响也不同<sup>[11-18]</sup>。温度、 $\text{CO}_2$  浓度、光合有效辐射通过影响水稻的光合作用及蒸腾作用间接影响水稻水分利用效率。研究表明,水稻水分利用效率随着光合有效辐射的增大呈现先增大后下降的趋势<sup>[19]</sup>。 $\text{CO}_2$  浓度增加能提高水稻水分利用效率。研究发现,当温度高于  $25\ ^\circ\text{C}$  (常温)时,水稻水分利用效率随着温度增高而降低<sup>[20]</sup>。本研究测定不同水稻品种在不同生育期、不同环境因子下的叶片水分利用效率,探讨气象因子及土壤水分胁迫对水稻 LWUE 的影响,旨在为量化气候变暖对水稻生产的影响提供依据。

收稿日期:2013-09-02

基金项目:公益性行业(气象)科研专项(编号:GYHY201106029-7);

南京信息工程大学基金(编号:2010356)。

作者简介:吴英姿(1988—),女,福建泉州人,硕士研究生,主要从事农业气象研究。E-mail:wyz07101085@163.com。

通信作者:胡继超,副教授,从事农业气象、农田信息技术、农业水资源与水循环研究。E-mail:jchu2005@nuist.edu.cn。

肥量,从而提高产量。

本试验建立了水稻高产与氮肥、磷肥及硅肥合理施用量的数学模型,经检验,与生产示范吻合。在本试验条件下,取得最佳施肥方案为:尿素  $204.91 \sim 267.46\ \text{kg}/\text{hm}^2$ ,过磷酸钙  $619.39 \sim 761.49\ \text{kg}/\text{hm}^2$ ,速效硅肥  $110.56 \sim 156.44\ \text{kg}/\text{hm}^2$ ,按照此施肥方案施肥,水稻产量可超过  $8\,250\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 。其中,3 种肥料施肥水平超过 0 水平时,磷肥的增产效果最明显,因此在增施氮肥的同时,一定要注意磷肥和硅肥的配合使用。本试验通过建立数学模型优化施肥方案,确定合理的施肥量,但在实际生产中要注意反馈信息,结合当地土壤肥力及肥料情况相应调整,以获取适合当地情况的最佳施肥方案。

## 参考文献:

- [1]潘宗东,柏光晓,石 明,等. 优质水稻中优 608 高产栽培的优化模式[J]. 贵州农业科学,2011,39(6):71-73.
- [2]谢必武,王季春,张 甲. 杂交稻强化栽培优化施肥模型建立及措施研究[J]. 西南农业大学学报:自然科学版,2005,27(3):

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

试验于 2012 年 5—10 月在南京信息工程大学农试站进行,5 月 23 日播种,6 月 23 日移栽大田,10 月 25 日收获。选用两优培九(籼稻)、南粳 44(粳稻)作为供试品种,利用盆栽方式人工控制土壤水分,用人工气候箱控制温度。

365-369.

- [3]雷武逵. 优质稻优增效高产综合栽培技术[J]. 西南农业学报,2008,21(4):942-945.
- [4]吴素琴,肖炳宏,赵国成. 机插稻优质高产高效氮、磷、钾配方优化试验研究[J]. 上海农业科技,2013(2):73-98.
- [5]李政芳,陈孟珍,吴素芳,等. 不同施肥量与施肥方法对优质水稻品质的影响[J]. 西南农业学报,2010,23(2):424-426.
- [6]曾维超. 水稻施肥试验初探[J]. 安徽农学通报,2013,19(6):28-29.
- [7]侯继红,范 富,张庆国. 通辽市水稻高产优化施肥模型的建立和施肥参数的确定[J]. 扬州大学学报:农业与生命科学版,2012,33(1):61-65,90.
- [8]钱卫飞,徐巡军,钱卫东,等. 不同土壤类型水稻测土配方施肥对肥料利用率的影响[J]. 江苏农业科学,2013,41(1):83-85.
- [9]荣廷昭,朱孝达,唐富玉,等. 农业试验与统计分析[M]. 成都:四川科学技术出版社,1993.
- [10]茆诗松,丁 元,周纪芈,等. 回归分析及其试验设计[M]. 上海:华东师范大学出版社,1981.