

# 水稻氮磷钾高产施肥模式研究

耿培 曹国藩\* , 丁飞 (贵州大学农学院, 贵州贵阳550025)

**摘要** [目的] 建立水稻施肥的数学模型, 为水稻的肥料管理提供依据。[方法] 采用三元二次通用旋转组合设计, 研究氮磷钾对水稻品种黔南优2058产量的影响, 并建立相应的回归方程。[结果] 氮肥对水稻产量的影响较大, 磷钾肥的影响相当。氮磷、氮钾、磷钾存在互作效应, 合理配施氮磷钾, 可提高水稻产量, 但超过最佳施肥水平, 水稻产量下降。氮磷钾互作效应在0~1时增产效果明显。经模拟寻优, 在该试验条件下, 黔南优2058的优化施肥方案为: 氮肥216.75~263.85 kg/hm<sup>2</sup>, 磷肥92.55~118.20 kg/hm<sup>2</sup>, 钾肥151.35~202.20 kg/hm<sup>2</sup>, 这时水稻产量高于8796.00 kg/hm<sup>2</sup>的可能性为95%。[结论] 以该研究建立的优化施肥方案为参考, 结合不同产区具体情况加以调整, 可实现水稻生产节本增效。

**关键词** 水稻; 氮磷钾; 产量; 通用旋转组合设计

中图分类号 S147.2 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2008)27-11852-03

## Study on Fertilization Model of Nitrogen, Phosphorus and Potassium for High Yield of Rice

GENG Pei et al (Agricultural College of Guizhou University, Guiyang, Guizhou 550025)

**Abstract** [Objective] The study aimed to establish the mathematical model of rice fertilization and provide the basis for fertilizer management for rice. [Method] The ternary quadratic general revolving combination design was taken to study the effect of nitrogen, phosphorus and potassium on the yield of rice variety Qannanyou 2058 and establish the corresponding regression equation. [Result] The effect of nitrogen fertilizer on the yield of rice was bigger, the effect of phosphorus and potassium fertilizer was equivalent. The interaction effects existed between nitrogen and phosphorus, nitrogen and potassium, phosphorus and potassium, the yield of rice could be increased by combining application of nitrogen, phosphorus and potassium reasonably, but the yield of rice would be decreased when the application amount was more than the optimum fertilizer applying level. The yield-increasing effect was obvious when the interaction effects of nitrogen, phosphorus and potassium was between 0 and 1. Through the simulating optimization, the optimum fertilizer application scheme for Qannanyou 2058 was nitrogen fertilizer of 216.75 - 263.85 kg/hm<sup>2</sup>, phosphorus fertilizer of 92.55 - 118.20 kg/hm<sup>2</sup> and potassium fertilizer of 151.35 - 202.20 kg/hm<sup>2</sup> in the tested conditions, then the possibility of rice yield being higher than 8796.00 kg/hm<sup>2</sup> was 95%. [Conclusion] The decreasing cost and increasing benefit for rice production could be implemented by taking the optimum fertilization scheme established in this study as the reference and combining some adjustment according to the concrete conditions in different production areas.

**Key words** Rice; Nitrogen, phosphorus and potassium; Yield; General revolving combination design

水稻是我国的主要粮食作物之一, 确保水稻的高产稳产对国家粮食安全起着十分重要的作用<sup>[1]</sup>。水稻产量的稳定增长受诸多因素的影响, 如稻田的水分管理、高产水稻品种的应用、稻田病虫害的防治及合理施肥<sup>[2]</sup>等。其中, 合理施肥是确保水稻高产稳产的有效措施之一<sup>[3]</sup>, 它既可以改善土壤环境、提高土壤肥力<sup>[4]</sup>, 还可以增强水稻的抗逆性, 促进水稻的形态建成与光合产物的积累, 进而使其产量稳定增长<sup>[5]</sup>。因此, 水稻的增产效应可作为衡量肥料施用合理与否的指标之一<sup>[6]</sup>。氮、磷、钾营养元素是作物正常生长发育的3大要素, 三者间互相联系, 互相制约, 缺一不可<sup>[7]</sup>。在水稻栽培中, 根据水稻的需肥规律, 做到科学施肥, 合理地分配和运筹肥料是关键<sup>[8]</sup>。

## 1 材料与方法

**1.1 材料** 供试水稻品种为黔南优2058。氮肥为尿素(N 46%), 磷肥为过磷酸钙(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 18%), 钾肥为氯化钾(K<sub>2</sub>O 50%)。试验在贵州大学教学试验农场分场进行, 其海拔1100 m, 年平均气温15℃左右。供试土壤为黄壤, pH值6.2, 有机质为18.00 g/kg, 速效氮为82.50 mg/kg, 速效磷为11.25 mg/kg, 速效钾为89.30 mg/kg。

**1.2 试验方法** 试验采用三元二次通用旋转组合设计, 因子编码与水平见表1, 设氮肥为X<sub>1</sub>, 磷肥为X<sub>2</sub>, 钾肥为X<sub>3</sub>。于2007年4月20日下播育秧, 5月27日移栽, 秧龄37 d。栽培株行距0.198 m×0.264 m。氮肥按5 2 3(底肥 分蘖肥 穗肥), 磷肥按1 1(底肥 穗肥), 钾肥按1 1(底肥 穗肥)施用。

基金项目 贵阳市科技局资助项目。

作者简介 耿培(1985-), 男, 安徽蚌埠人, 硕士研究生, 研究方向: 作物优质、高产、高效栽培理论与技术。\* 通讯作者。

收稿日期 2008-07-04

试验数据采用DPS, Excel 进行分析处理。

表1 变量与水平编码值

Table 1 Variables and level codes

水平编码值 Level code	因素 Factors		
	X <sub>1</sub> (N)	X <sub>2</sub> (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	X <sub>3</sub> (K <sub>2</sub> O)
-1.682	0	0	0
-1	4.055	2.03	3.65
0	10.000	5.00	9.00
1	15.945	7.97	14.35
1.682	20.000	10.00	18.00
变化区间	5.945	2.97	5.35
Change block			

## 2 结果与分析

试验结果见表2, 对产量进行数学模型回归模拟, 建立回归方程, 在α=0.10显著水平剔除不显著项后, 简化后的回归方程如下:

$$Y = 627.6992 + 30.5639X_1 + 17.5802X_2 + 9.3620X_3 - 11.9698X_1^2 - 24.5210X_2^2 - 23.9906X_3^2 + 12.8750X_1X_2 + 15.8750X_1X_3 + 6.3750X_2X_3$$

失拟检验  $F_1 = 6.397 < F_{0.05}$ , 未达到显著水平, 说明选择三元二次多项式模型是合适的;  $F_{0.05} < F_2, F_2 < F_{0.01}$ , 达到显著水平, 说明方程回归关系显著, 可以用于预测。

**2.1 主效应分析** 采用降维法将3个因素中的2个固定在零水平上, 得到剩余因子与产量的一元二次数学模型为:

$$Y(X_1) = 627.6992 + 30.5639X_1 - 11.9698X_1^2$$

$$Y(X_2) = 627.6992 + 17.5802X_2 - 24.5210X_2^2$$

$$Y(X_3) = 627.6992 + 9.3620X_3 - 23.9906X_3^2$$

各模型效应曲线见图1。

表2 水稻不同氮磷钾处理的产量

Table 2 The yield of rice under different treatments of N, P and K

处理 Treatment	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	Y 产量 kg/hm <sup>2</sup> Yield
1	1	1	1	10 095
2	1	1	-1	9 060
3	1	-1	1	8 685
4	1	-1	-1	8 250
5	-1	1	1	8 145
6	-1	1	-1	8 280
7	-1	-1	1	7 725
8	-1	-1	-1	8 025
9	1.682	0	0	9 570
10	-1.682	0	0	8 175
11	0	1.682	0	8 550
12	0	-1.682	0	8 130
13	0	0	1.682	8 625
14	0	0	-1.682	8 100
15	0	0	0	9 525
16	0	0	0	9 435
17	0	0	0	9 270
18	0	0	0	9 465
19	0	0	0	9 435
20	0	0	0	9 375

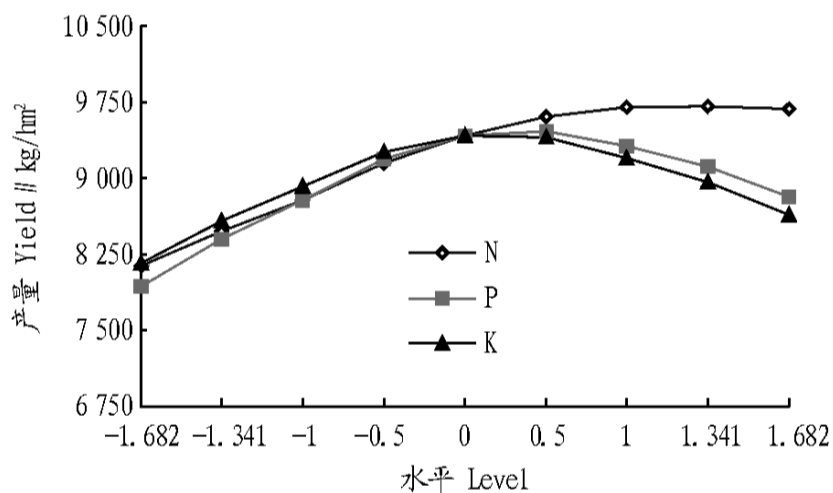


图1 3 因素在不同水平值时的理论产量

Fig.1 Theoretical yield at different levels of three factors

由图1 可以看出, 水稻产量受氮肥的影响较大, 磷钾肥影响作用相当, 也起着重要的作用。产量在氮磷钾较低水平时都是随着该因素的增大而增大, 但当氮磷钾超过最佳水平时, 产量反而下降。因此可以看出, 过量施用化肥对产量没有增长作用, 不符合节本增效原则。

2.2 双因子互作效应分析

2.2.1 氮肥与磷肥的互作效应。固定钾肥在零水平时, 得到氮肥与磷肥的二元二次方程:

$$Y_{1,2} = 627.699 2 + 30.563 9 X_1 + 17.580 2 X_2 - 11.969 8 X_1^2 - 24.521 0 X_2^2 + 12.875 0 X_1 X_2$$

由图2 可以看出, 当氮肥与磷肥由低水平逐渐增加时, 产量增长较快, 两者有明显的促进作用; 但当超过最佳水平后, 进一步施肥产量降低。产量在水平0 ~1 范围内实现最高值。由此可见, 合理搭配氮肥与钾肥在一定范围内能促进肥效, 实现增产。

2.2.2 氮肥与钾肥的互作效应。固定磷肥在零水平时, 得到氮肥与钾肥的二元二次方程:

$$Y_{1,3} = 627.699 2 + 30.563 9 X_1 + 9.362 0 X_3 - 11.969 8 X_1^2$$

$$- 23.990 6 X_3^2 + 15.875 0 X_1 X_3$$

由图3 可以看出, 氮肥和钾肥的互作效应与氮肥和磷肥的互作效应相似, 但是钾肥比磷肥的影响更为明显一些, 当钾肥与氮肥超过最佳水平后, 产量随着钾肥水平的增加而迅速下降, 但当水平0 ~1 范围时, 氮肥与钾肥配合施用, 增产明显。

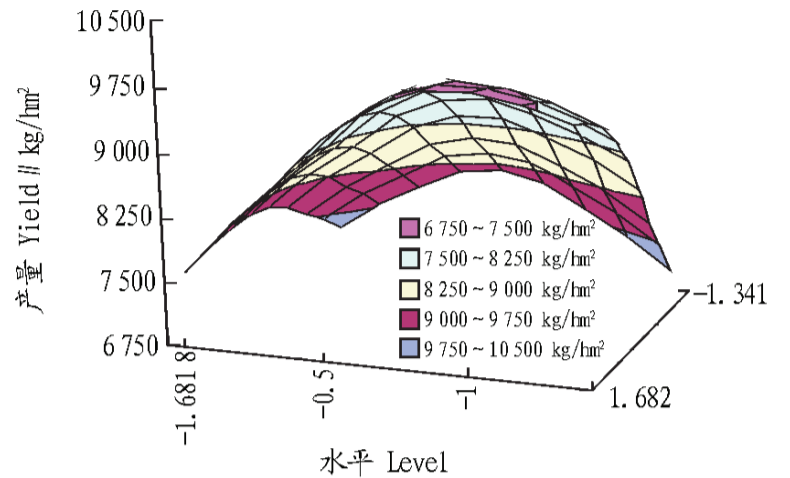


图2 氮肥与磷肥的互作效应

Fig.2 The interaction effect between N fertilizer and P fertilizer

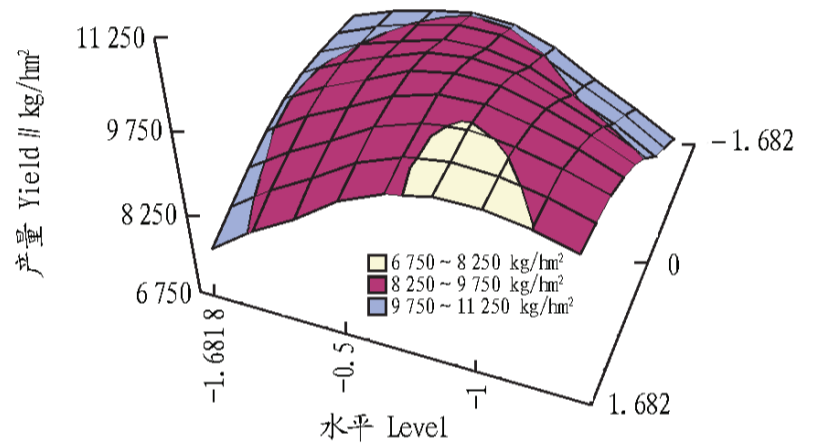


图3 氮肥与钾肥的互作效应

Fig.3 The interaction effect between N fertilizer and K fertilizer

2.2.3 磷肥与钾肥的互作效应。固定氮肥在零水平时, 得到磷肥与钾肥的二元二次方程:

$$Y_{2,3} = 627.699 2 + 17.580 2 X_2 + 9.362 0 X_3 - 24.521 0 X_2^2 - 23.990 6 X_3^2 + 6.375 0 X_2 X_3$$

由图4 可以看出, 随着水平的变化, 磷肥和钾肥对产量的影响有相似的变化趋势, 磷肥和钾肥有相似的效应。当单一施用磷肥时, 产量随着水平上升而上升, 超过最佳水平时, 产量随着水平上升而下降。当同时施用磷肥和钾肥时, 互作效应明显, 配合施用对增产有利。

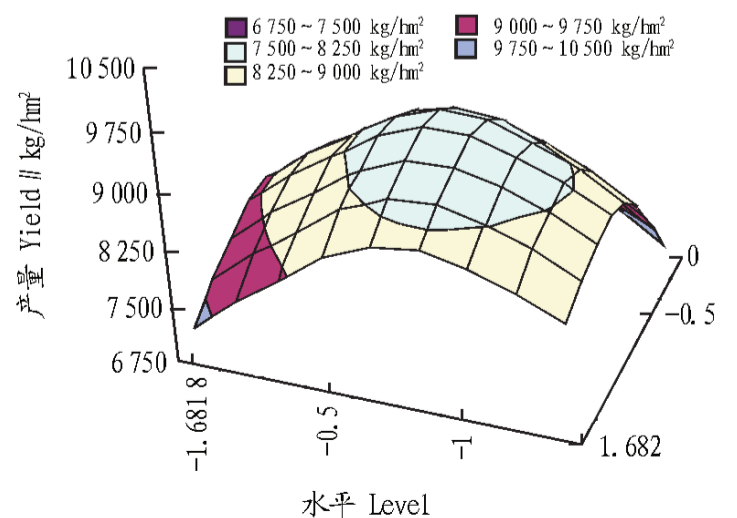


图4 磷肥与钾肥的互作效应

Fig.4 The interaction effect between P fertilizer and K fertilizer

2.3 最佳施肥方案模拟寻优 对数据模型进行非线性求解

极大值,得最高值因素水平组合  $X_1 = 1.682$ ,  $X_2 = 1$ ,  $X_3 = 1$ , 即氮肥  $300.00 \text{ kg/hm}^2$ , 磷肥  $119.55 \text{ kg/hm}^2$ , 钾肥  $215.25 \text{ kg/hm}^2$ , 达最高产  $10176.00 \text{ kg/hm}^2$ 。用统计选优法对 125 个方案进行模拟选优,取  $8796.00 \text{ kg/hm}^2$  作参照,高于此参照的方案

共 29 个,占全部方案的 23.2%。由表 3 可以看出,水稻产量高于  $8796.00 \text{ kg/hm}^2$  的各因子绝大部分出现在 0~1 水平。当氮肥的施用量在  $216.75 \sim 263.85 \text{ kg/hm}^2$ , 磷肥在  $92.55 \sim 118.20 \text{ kg/hm}^2$ , 钾肥在  $151.35 \sim 202.20 \text{ kg/hm}^2$  时,产量高于  $8796.00 \text{ kg/hm}^2$  的可能性为 95%。

表 3 产量高于  $8796.00 \text{ kg/hm}^2$  的数值与频率

Table 3 The numerical value and frequency of variables with the yield of over  $8796.00 \text{ kg/hm}^2$

编码 Code	$X_1$		$X_2$		$X_3$	
	次数 Times	频率 Frequency	次数 Times	频率 Frequency	次数 Times	频率 Frequency
-1.682	0	0	0	0	0	0
-1	0	0	2	0.069 0	4	0.137 9
0	6	0.206 9	10	0.344 8	10	0.344 8
1	12	0.413 8	10	0.344 8	9	0.310 3
1.682	11	0.379 3	7	0.241 4	6	0.206 9
加权均数 Weighted average	1.052		0.682		0.520	
95%的置信区间 95% confidence interval	0.827 ~1.276		0.393 ~0.971		0.203 ~0.838	
推荐方案 $\text{kg/hm}^2$ Recommended scheme	216.75 ~263.85		92.55 ~118.20		151.35 ~202.20	

### 3 结论与讨论

(1) 在以往的水稻氮磷钾施肥研究中,大多以单因素、复因素或简单配比区组研究为主,研究的试验因素水平少,难以正确显示肥料效应变化趋势<sup>[8]</sup>,因此也就难以选出适宜的施肥模式。该试验采用的通用旋转组合设计,同时具有旋转性与通用性,通过模拟寻优,建立施肥的数学模型,科学分析水稻各肥料的施肥区间,为水稻生产提供施肥指导。

(2) 试验结果表明,两因素交互作用分析结果,氮磷、氮钾、磷钾之间存在互作效应。合理配施氮磷钾,可以提高产量,但超过最佳施肥水平,产量下降。氮磷钾互作效应在 0~1 水平增产效果明显。经模拟寻优,该试验条件下氮磷钾肥对水稻品种黔南优 2058 的优化施肥方案为  $\text{N}:216.75 \sim 263.85 \text{ kg/hm}^2$ ;  $\text{P}_2\text{O}_5:92.55 \sim 118.20 \text{ kg/hm}^2$ ;  $\text{K}_2\text{O}:151.35 \sim 202.20 \text{ kg/hm}^2$ 。因不同试验地区气候及供试土壤不同,该试

验建立的优化施肥方案可作为参考,结合不同生产区具体情况加以调整,实现水稻生产节本增效。

#### 参考文献

- [1] 秦江涛,胡锋,李辉信,等.覆草旱作对水稻主要农艺性状的影响及节水效应[J].中国水稻科学,2006,20(2):171-176.
- [2] 申建波,李仁岗.不同土壤肥力水平下水稻氮磷肥效应与经济合理施肥量的确定[J].河北农业大学学报,1994,17(S):7-14.
- [3] 吾建祥,施南芳.长期不同施肥对水稻养分吸收和肥料利用率的影响[J].湖北农业科学,2002(4):54-56.
- [4] 周卫军,王凯荣,张光远,等.施肥进步在红壤稻作区水稻增产中的贡献及其对土壤肥力的影响[J].土壤通报,2002,33(3):197-201.
- [5] 蔡昆争,骆世明.施肥对水稻生长发育和产量形成的影响[J].作物研究,1997(4):2-4.
- [6] 王兴仁,陈新平,张福锁.施肥模型在我国推荐施肥中的应用[J].植物营养与肥料学报,1998,4(1):67-74.
- [7] 陈式谷,张辛未,朱宏斌,等.化肥与有机肥及两者配施长期定位试验[J].安徽农业科学,1995,23(2):161-164.
- [8] 华孟.土壤肥料学[M].北京:农业出版社,1990.

(上接第11789页)

从表 4 中分别选出发芽势大于 18.0%、简化活力指数大于 85.0 的 9 个优良组合,根据最优组合频数分布表确定出优化的综合农艺措施(表 5)。

由表 5 可见,采用不同浓度赤霉素与浸种时间处理藏茵陈种子,可以明显提高种子的萌发能力。优化综合农艺措施为:赤霉素浓度  $1068 \sim 1532 \text{ ng/kg}$ ,浸种时间 17~22 h。

### 3 小结

采用赤霉素处理藏茵陈种子,浓度在  $1000 \sim 2000 \text{ ng/kg}$  可以明显促进种子的萌发。

在促进种子萌发、提高种子的活力上,赤霉素浓度起着

主要作用。优化综合农艺措施为:赤霉素浓度  $1068 \sim 1532 \text{ ng/kg}$ ,浸种时间 17~22 h。

饱和 D 最优设计是试验设计中精确度较高的试验设计方法之一,其实测值与理论预测值之间具有极高的相关性。该试验中实测值与理论预测值之间的相关系数  $r$  均达到极显著水平,表明所建立的数学模型具有较强的应用性,可以用来指导试验与生产实践。

#### 参考文献

- [1] 魏卫东.两种藏茵陈植物种子萌发能力研究初报[J].种子,2006(9):80-81.
- [2] 苏旭.川西獐牙菜种子萌发特性的研究[J].中国农学通报,2006(2):216-218.
- [3] 强中发.农业试验现代设计[J].青海农林科技,1989(1):53-58.