

# 氮磷钾配施对绿豆产量的效应研究

曾玲玲,崔秀辉,李清泉,刘 峰,王 成,闫 锋,季生栋  
(黑龙江省农业科学院 齐齐哈尔分院,黑龙江 齐齐哈尔 161006)

**摘要:**应用三因素五水平二次正交旋转组合设计,研究氮、磷、钾配施对绿豆的产量效应,并建立氮、磷、钾施用量与绿豆产量关系的肥料效应函数模型,以确定绿豆的最佳施肥方案。结果表明:三因素对绿豆产量影响的大小顺序为磷肥>氮肥>钾肥,且氮磷、磷钾的交互作用达显著水平,通过方程模拟寻优得出,绿豆产量大于 1 200 kg·hm<sup>-2</sup>的施肥方案:N 施用量 91.0~94.4 kg·hm<sup>-2</sup>,P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>施用量 112.0~133.9 kg·hm<sup>-2</sup>,K<sub>2</sub>O 施用量 54.8~84.9 kg·hm<sup>-2</sup>,N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O 的比例为 1.00:1.33:0.75。

**关键词:**绿豆;氮、磷、钾肥;产量;效应

中图分类号:S522      文献标识码:A      文章编号:1002-2767(2010)07-0048-04

绿豆在我国已有 2 000 多年的栽培历史<sup>[1]</sup>。且资源丰富,全国大部分地区均有生产<sup>[2]</sup>。绿豆适应性、抗逆性强,具有很高的营养价值,兼有食用、药用、饲用和蔬菜(绿豆芽)、绿肥作物的优点<sup>[3-4]</sup>。当前在绿豆种植过程中,不合理施肥现象十分突出<sup>[5]</sup>,不仅不能充分发挥肥效,而且影响绿豆的生长,从而导致绿豆产量停滞不前、品质变劣,甚至造成土壤理化性状变劣。为了克服施肥的盲目性,提高产量,探讨绿豆合理优化施肥是十分必要的。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

试验于 2009 年春季在黑龙江省农业科学院齐齐哈尔分院试验地进行,海拔 141 m,年平均温度 3.37℃,土壤类型为碳酸盐黑钙土。土壤有机质含量 2.001%,全氮含量 0.141%,水解氮 250 mg·kg<sup>-1</sup>,速效磷 0.149 mg·kg<sup>-1</sup>,pH 为 6.9。前作为玉米,供试绿豆品种为绿丰 5 号。供试肥料分别为尿素(含 N 46%),过磷酸钙(含 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 12%)和硫酸钾(含 K<sub>2</sub>O 50%)。

### 1.2 试验设计

试验采用三因素五水平二次正交旋转组合设计<sup>[6]</sup>。共设 23 个处理,3 次重复,小区面积

9.26 m<sup>2</sup>,行长 4.75 m,行距 0.65 m。磷、钾肥作种肥一次性施用,氮肥作追肥施用,试验因子水平及编码见表 1。

表 1 试验因子水平及编码

试验因子	代号	变化 间距	设计水平				
			-1.682	-1	0	1	1.682
N	X <sub>1</sub>	30.0	10	30	60	90	110
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	X <sub>2</sub>	45.0	10	40	85	130	160
K <sub>2</sub> O	X <sub>3</sub>	37.5	20	45	82.5	120	145

## 2 结果与分析

### 2.1 模型的建立

根据试验结果(见表 2),以绿豆产量(Y)为目标函数,以 X<sub>1</sub>、X<sub>2</sub>、X<sub>3</sub>为决策变量,建立二次回归模型,并对试验结果进行方差分析(见表 3)。经回归分析建立的二次回归模型:

$$Y = 1\ 163.95 + 46.76X_1 + 52.42X_2 + 38.70X_3 + 1.26X_1^2 - 73.90X_2^2 + 7.04X_3^2 + 71.43X_1X_2 - 16.23X_1X_3 - 58.32X_2X_3 \quad (1)$$

表 3 的方差分析结果表明,失拟项均方 F<sub>1</sub> = 1.298 < F<sub>0.05(5,8)</sub> = 3.69,失拟不显著,所以二次模型是合适的。故以合并均方即剩余均方作为被比量,测验各回归平方和的显著性(用 F<sub>2</sub> 表示),在 α = 0.10 水平上,X<sub>1</sub>、X<sub>2</sub>的一次效应和 X<sub>2</sub>的二次效应与 X<sub>1</sub>X<sub>2</sub>、X<sub>2</sub>X<sub>3</sub>的一级互作效应显著,故在 α = 0.10 水平予以保留,得下列方程:

$$Y = 1\ 163.95 + 46.76X_1 + 52.42X_2 - 73.90X_2^2 + 71.43X_1X_2 - 58.32X_2X_3 \quad (2)$$

收稿日期:2010-04-06  
基本项目:国家食用豆产业技术体系建设专项资金资助项目(nycytx-18-Z9)  
第一作者简介:曾玲玲(1982-),女,黑龙江省密山市人,硕士,研究实习员,从事土壤肥料与作物栽培研究。E-mail: zengling\_8225@163.com。  
通讯作者:刘峰(1963-),男,黑龙江省克山县人,高级农艺师,从事杂粮育种及栽培研究。E-mail: zls1963@163.com。

表 2 二次正交旋转组合设计试验方案及产量结果比较

处理号	编码值			施肥量/kg·hm <sup>-2</sup>			产量 /kg·hm <sup>-2</sup>
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	
1	1	1	1	90	130	120	1288.57
2	1	1	-1	90	130	45	1233.35
3	1	-1	1	90	40	120	1078.06
4	1	-1	-1	90	40	45	1035.36
5	-1	1	1	30	130	120	932.79
6	-1	1	-1	30	130	45	1058.47
7	-1	-1	1	30	40	120	1253.80
8	-1	-1	-1	30	40	45	900.40
9	-1.6818	0	0	10	85	82.5	1124.37
10	1.6818	0	0	110	85	82.5	1212.80
11	0	-1.6818	0	60	10	82.5	816.17
12	0	1.6818	0	60	160	82.5	1095.82
13	0	0	-1.6818	60	85	20	1124.64
14	0	0	1.6818	60	85	145	1245.24
15	0	0	0	60	85	82.5	1230.41
16	0	0	0	60	85	82.5	1159.51
17	0	0	0	60	85	82.5	1217.45
18	0	0	0	60	85	82.5	1017.36
19	0	0	0	60	85	82.5	1168.15
20	0	0	0	60	85	82.5	1058.75
21	0	0	0	60	85	82.5	1135.40
22	0	0	0	60	85	82.5	1239.05
23	0	0	0	60	85	82.5	1249.12

表 3 方差分析

变异来源	平方和	自由度	均方	F 值	F <sub>0.05</sub>	F <sub>0.01</sub>
X <sub>1</sub>	29861.28	1	29861.28	4.0004		
X <sub>2</sub>	37525.09	1	37525.09	5.0270		
X <sub>3</sub>	20449.40	1	20449.40	2.7395		
X <sub>1</sub> <sup>2</sup>	25.26	1	25.26	0.0034		
X <sub>2</sub> <sup>2</sup>	86777.87	1	86777.87	11.6252		
X <sub>3</sub> <sup>2</sup>	788.21	1	788.21	0.1056		
X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	40817.96	1	40817.96	5.4682		
X <sub>1</sub> X <sub>3</sub>	2106.01	1	2106.01	0.2821		
X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	27209.78	1	27209.78	3.6452		
回归	245701.15	9	27300.13	F <sub>2</sub> =3.657	2.72	4.19
剩余	97040.30	13	7464.64			
失拟	43459.07	5	8691.81	F <sub>1</sub> =1.298	3.69	6.63
误差	53581.23	8	6697.65			
总和	342741.45	22				

2.2 模型解析

2.2.1 主因子效应分析 主效应分析旨在表明各因子对产量影响的主次地位。回归系数绝对值的大小可以判断因子的重要程度。从方程(1)中的一次项看三因子对产量的影响为:磷肥( $b=52.42$ ) $>$ 氮肥( $b=46.76$ ) $>$ 钾肥( $b=38.70$ )。将其它因子固定在零水平,可由方程(2)得到下列方程:

$$Y(X_1)=1\ 163.95+46.76X_1 \tag{3}$$

$$Y(X_2)=1\ 163.95+52.42X_2-73.90X_2^2 \tag{4}$$

$$Y(X_3)=1\ 163.95 \tag{5}$$

将各因子的不同水平值分别代入方程,得出各因子在不同水平下的产量(见图 1)。由图 1 可知, $X_1$ (氮肥)与绿豆产量的关系曲线为直线,即 $X_1$ 在 $[-1.682,1.682]$ 水平区域内,随着 $X_1$ 水平的增加,绿豆产量也随之增加,即在本试验用量范围内,氮肥在 1.682 水平( $110\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ )时,绿豆产量达到最大值  $1\ 242.59\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。 $X_2$ (磷肥)与绿豆产量的关系曲线为抛物线, $X_2$ 在 $[-1.682,0]$ 水平区域内,随着 $X_2$ 水平的增加,绿豆产量随之增加,在 0 水平( $85\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ )时,绿豆产量达到最大值  $1\ 163.95\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ;在 $[0,1.682]$ 水平区域内,随着 $X_2$ 水平的增加,绿豆产量随之降低。 $X_3$ (钾肥)与绿豆产量的关系为与 X 轴平行的直线,说明钾肥的施用量对绿豆产量基本无影响。

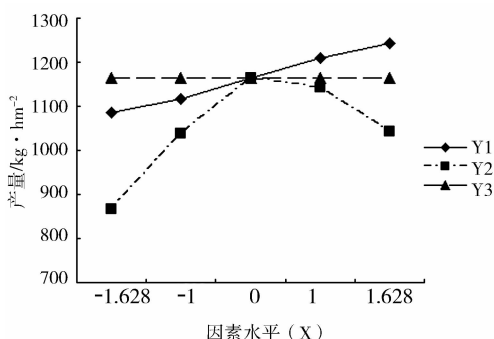


图 1 绿豆产量与三因素的对应函数关系

2.2.2 因子间交互效应的分析 由方程(1)中偏回归系数的绝对值可以看出,各因子间交互作用大小依次为  $X_1X_2>X_2X_3>X_1X_3$ ,从方差分析结果来看,变量中达到显著水平的交互项为  $X_1X_2$ 和  $X_2X_3$ (见表 3),采用“降维法”得氮肥( $X_1$ )与磷

肥( $X_2$ )因素间的交互作用编码方程,磷肥( $X_2$ )与钾肥( $X_3$ )效应互作编码方程:

$$Y_{12}=1\ 163.95+46.76X_1+52.42X_2-73.90X_2^2+71.43X_1X_2 \tag{6}$$

$$Y_{23}=1\ 163.95+52.42X_2-73.90X_2^2-58.32X_2X_3 \tag{7}$$

表 4 因素间互作分析

项		X <sub>2</sub> 水平				
目		1. 682	− 1. 682	− 1	0	1
X <sub>1</sub> 水 平	− 1. 682	990. 16	1079. 12	1085. 31	943. 70	762. 41
	− 1	940. 14	1062. 30	1117. 19	1024. 28	876. 19
	0	866. 77	1037. 63	1163. 95	1142. 47	1043. 09
	1	793. 40	1012. 96	1210. 71	1260. 66	1209. 98
	1. 682	743. 38	996. 14	1242. 59	1341. 24	1323. 76
X <sub>3</sub> 水 平	− 1. 682	701. 82	939. 55	1163. 95	1240. 55	1208. 04
	− 1	768. 69	979. 31	1163. 95	1200. 79	1141. 17
	0	866. 77	1037. 63	1163. 95	1142. 47	1043. 09
	1	964. 85	1095. 95	1163. 95	1084. 15	945. 00
	1. 682	1031. 72	1135. 71	1163. 95	1044. 39	878. 13

根据方程(6)和(7)得出表 4,可以看出,(1)氮肥在 $[1,1.682]$ 水平区域内,磷肥在 $[0,1.682]$ 水平区域内,即氮肥用量  $90\sim110\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和磷肥用量  $85\sim160\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,产量函数值可达到较高值。在低氮水平下,绿豆产量随磷肥水平的增加表现出先增加后降低的趋势,在高氮水平下,随磷肥水平的增加,绿豆产量呈增加的趋势,在磷肥水平达到最高时,绿豆产量有小幅度的降低。(2)钾肥在 $[-1.682,-1]$ 水平区域内,磷肥在 $[1,1.682]$ 水平区域内,即钾肥用量  $20\sim45\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和磷肥用量  $130\sim160\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,产量函数值可达到较高值。磷肥在低水平时,绿豆产量随钾肥水平的增加而增加,磷肥在高水平时,绿豆产量随钾肥水平的增加而降低。说明低钾肥用量配合高磷肥用量可显著提高绿豆产量。

2.3 最佳施肥措施的确定

模型(2)中目标函数 Y 的最优解,要通过产量频率分析求得。在  $-1.682\leq Xi\leq1.682$  区间内共得出 125 套组合方案,其中绿豆产量 $\geq$

1 200 kg·hm<sup>-2</sup>的组合 29 套,占 23%(见表 5)。

表 5 高产施肥方案 X<sub>i</sub> 取值频率分布及优选结果

编 码	X <sub>1</sub>		X <sub>2</sub>		X <sub>3</sub>	
	次数	频率	次数	频率	次数	频率
—1.682	0	0	0	0	8	0.276
—1	0	0	0	0	7	0.241
0	3	0.103	10	0.3448	6	0.207
1	12	0.414	11	0.3793	5	0.172
1.682	14	0.483	8	0.2759	3	0.103
合计	29	1	29	1	29	1
加权均数	1.226		0.843		—0.36	
标准误	0.098		0.124		0.216	
95%置信 区间	1.034~1.417		0.600~1.087		—0.783~0.065	
施肥量	91.0~94.4		112.0~133.9		54.8~84.9	
中心值	92.7		123		69.9	
N:P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> :K <sub>2</sub> O	1		1.33		0.75	

由表 5 可知,在该试验条件下,绿豆产量≥1 200 kg·hm<sup>-2</sup>的施肥量为: N 施用量 91.0~94.4 kg·hm<sup>-2</sup>,P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>施用量 112.0~133.9 kg·hm<sup>-2</sup>,K<sub>2</sub>O施用量54.8~84.9 kg·hm<sup>-2</sup>。施肥量的中心值为 N: 92.7 kg·hm<sup>-2</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: 123 kg·hm<sup>-2</sup>、K<sub>2</sub>O: 69.9 kg·hm<sup>-2</sup>, N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O 的比例为 1.00:1.33:0.75。

3 结 论

在该试验条件下,三因子对绿豆产量影响的顺序为磷肥>氮肥>钾肥,磷肥和氮肥应是生产

中重点调控的因子。

单因子效应及二因子互作效应分析表明,在试验范围内,产量随施氮量的增加而增加,随施磷量的增加呈现出先增加后降低的趋势,钾肥对产量的影响不显著。各因子间交互作用大小依次为 X<sub>1</sub>X<sub>2</sub>>X<sub>2</sub>X<sub>3</sub>>X<sub>1</sub>X<sub>3</sub>,在低氮水平下,绿豆产量随磷肥水平的提高表现出先增加后降低的趋势,磷肥在低水平时,绿豆产量随钾肥水平的提高而增加,磷肥在高水平时,绿豆产量随钾肥水平的提高而降低。

通过三因子综合效应分析,提出了产量大于 1 200 kg·hm<sup>-2</sup>的施肥方案: N 施用量 91.0~94.4 kg·hm<sup>-2</sup>,P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>施用量 112.0~133.9 kg·hm<sup>-2</sup>,K<sub>2</sub>O施用量 54.8~84.9 kg·hm<sup>-2</sup>,N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O 的比例为 1.00:1.33:0.75。

参考文献:

[1] 于振文. 作物栽培学各论[M]. 北京:中国农业出版社, 2003:295-297.

[2] 韩文凤,邱波. 绿豆开发利用研究概况[J]. 粮食加工,2008, 33(5):53-54.

[3] 李仕成. 烯效唑对秋绿豆高产栽培生理和产量调节效应的研究[D]. 雅安:四川农业大学,2003.

[4] 吴杨. 药用保健化绿豆蔬菜[M]. 北京:中国农业出版社, 2000:33-35.

[5] 范富,张庆国,张宁,等. 旱作绿豆优化施肥对产量及生物性状的影响[J]. 中国农学通报,2003,19(5):47-50.

[6] 菲诗松. 回归分析及其试验设计[M]. 上海:华东师范大学出版社,1983:191-230.

Studies on the Effects of Application Ratios of Nitrogen, Phosphorus and Potassium on Yield of Mung Bean

ZENG Ling-ling,CUI Xiu-hui,LI Qing-quan,LIU Feng,WANG Cheng,YAN Feng,JI Sheng-dong

(Qiqihar Branch of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Qiqihar, Heilongjiang 161006)

**Abstract:** Using the 3-factor-5-level quadratic rotational combination design,the effect of the compound of N,P and K fertilizer on the yield of mung bean was studied. And the fertilizer response models were established between the N,P and K fertilizer and yield of mounng bean. Based on the model,the best fertilized plan was determined. The results indicated that the effects of N,P and K on the yield followed the order:P>N>K,and the interactive effects between N and P,P and K were significant. According to the model ,the fertilized plans which the yield surpassed 1 200 kg·hm<sup>-2</sup> were 91.0~94.4 kg·hm<sup>-2</sup> N,112.0~133.9 kg·hm<sup>-2</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and 54.8~84.9 kg·hm<sup>-2</sup> K<sub>2</sub>O. The ratios of N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O was 1.00:1.33:0.75.

**Key words:** mungbean; N P K fertilizer; yield; effect