

# 施肥量及密度对直立型绿豆品种产量效应的影响

邓昆鹏, 郭中校, 王明海, 包淑英, 王桂芳, 徐 宁\*, 刘洪霞\*

(吉林省农业科学院, 长春 130033)

**摘要:**为明确施肥量及密度对直立型绿豆品种产量效应的影响,以直立型绿豆吉绿10号为试验材料,采用四因素五水平二次正交旋转组合设计试验,探讨氮、磷、钾及密度配施对直立型绿豆品种产量的影响。同时建立氮、磷、钾肥及密度四因子与绿豆产量之间的函数模型,并对各因子作用进行分析,对模型进行了优化。主因子效应分析表明:四因子对吉绿10号产量影响大小顺序为:钾肥>株距>磷肥>氮肥。单因子效应分析表明,随着施氮肥和钾肥量的提高,绿豆产量呈先下降后上升的趋势;随着施磷量的提高,绿豆产量呈曲线下降的趋势;随着株距的增加,绿豆产量呈先上升后下降的趋势。模型优化结果表明,绿豆产量大于1 332.05 kg/hm<sup>2</sup>时大田试验适宜的施肥量为:N施用量55.6~65.8 kg/hm<sup>2</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>施用量81.9~96 kg/hm<sup>2</sup>、K<sub>2</sub>O施用量71.75~90.65 kg/hm<sup>2</sup>,适宜的株距为9.62~10.62 cm。

**关键词:**绿豆;函数模型;肥料;密度

中图分类号:S522 文献标识码:A 文章编号:2096-5877(2020)06-0032-05

## Effects of Fertilizing Quantity and Density on Yield of Mungbean Erect Variety

DENG Kunpeng, GUO Zhongxiao, WANG Minghai, BAO Shuying, WANG Guifang, XU Ning\*, LIU Hongxia\*

(Jilin Academy of Agricultural Sciences, Changchun 130033, China)

**Abstract:**In order to determine the effect of fertilizer application and density on the yield effect of mungbean erect variety, a quadratic orthogonal rotation combination design experiment with four factors and five levels was conducted to investigate nitrogen, phosphorus, potassium, and density on yield of erect variety Jilv 10. At the same time, a function model between four factors and production was established, and the effect of each factor was analyzed and the model was optimized. The main factor effect analysis showed that the effect of four factors on the yield was in order of potash fertilizer>plant spacing>phosphate fertilizer>nitrogen fertilizer. The single factor effect analysis showed that with the increase of nitrogen and potash fertilizer application, the yield first decreased and then increased. With the increase of phosphate fertilizer application, the yield showed a downward trend. With the increase of plant spacing, the output showed a trend of rising first and then decreasing. The results of model optimization showed that when the mungbean yield was greater than 1 332.05 kg/ha. The appropriate fertilization amount for N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, and K<sub>2</sub>O were 55.6~65.8 kg/ha, 81.9~96 kg/ha, and 71.75~90.65 kg/ha, respectively, and the appropriate plant spacing was 9.62~10.62 cm.

**Key words:** Mungbean; Function model; Fertilizer; Density

绿豆是食用豆类重要的栽培品种之一,在我国有着广泛种植历史<sup>[1]</sup>。绿豆生育期短,播种适

期长,抗逆性强,有较好的固氮能力,可以作为禾谷类间作套种的适宜前茬作物,并且绿豆具有很高的营养价值,兼有食用、药用等特点<sup>[2]</sup>。氮、磷、钾肥及密度是作物最为关键的四大栽培因素,目前,在绿豆种植生产中常常会出现由于施肥及密度不当引起的绿豆长势差、产量下降等问题<sup>[3]</sup>。吉林省是绿豆生产大省,随着“镰刀弯”种植结构的调整,国内外对绿豆需求的增加,吉林省绿豆种植面积逐年递增<sup>[4]</sup>。但也面临巨大的挑战,绿豆品种混杂并缺乏与其配套的生产栽培措施致使绿豆产量下降,因此选择优良绿豆品种及合理的

收稿日期:2018-11-19

基金项目:吉林省农业科技创新工程(CXGC2017TD016、CXGC2017JC001);吉林省科技发展计划(20180201071NY);现代农业产业技术体系建设专项资金(CARS-08-Z8)

作者简介:邓昆鹏(1991-),男,研究实习员,硕士,主要从事食用豆育种与栽培研究。

通讯作者:徐 宁,男,在读博士,副研究员,E-mail: xunig2008@163.com

刘洪霞,女,硕士,副研究员,E-mail: kyelhx@126.com

栽培措施是非常必要的。为了使绿豆生产可持续发展,必须掌握优质绿豆品种的最佳栽培措施,提高产量、发挥其生产潜力。2014年吉林省农业科学院成功选育出绿豆新品种吉绿10号并大面积推广,填补了吉林省直立型绿豆品种的空白,其显著特点是结荚集中在顶部,抗倒伏,成熟一致,株型直立,适合机械化收获<sup>[5]</sup>。为此迫切需要掌握直立型绿豆的施肥及适宜群体大小规律,并以此来优化绿豆栽培方式。本研究采用四因素五水平二次正交旋转组合设计试验,对吉绿10号栽培中的各栽培因子与产量之间相互关系进行研究,拟建立氮、磷、钾肥及密度四因子与绿豆产量之间的函数模型,为提高直立型绿豆品种产量,掌握并优化其栽培措施提供重要理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料

试验地位于吉林省通榆县瞻榆镇良井子村。试验地前茬为高粱,地势平坦。土壤pH值7.67,耕层有机质11.6 g/kg,水解性氮63.32 mg/kg,有效磷8.58 mg/kg,速效钾109 mg/kg。参试绿豆品种为吉绿10号。试验所用的氮肥为尿素(含N 46%),磷肥为过磷酸钙(含P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 12%),钾肥为硫酸钾(含K<sub>2</sub>O 50%)。

### 1.2 试验设计与方法

采用四因素五水平二次正交旋转组合设计<sup>[6]</sup>。

设置氮肥X<sub>1</sub>(N)、磷肥X<sub>2</sub>(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)、钾肥X<sub>3</sub>(K<sub>2</sub>O)、株距X<sub>4</sub>等4个因素,每个因素各设5个水平,r=2,各因素设计水平及相应的设计编码值见表1。试验共36个处理,每个处理种植4行,行长5 m,行距0.65 m。各处理所用肥料全部作为种肥施入试验田。于2017年6月6日播种,9月1日收获,田间管理同大田,测定小区产量并折合成公顷产量。

表1 栽培因素水平及线性编码

栽培因素	水平间距	水平与线性编码(r=2)				
		-2	-1	0	1	2
X <sub>1</sub> (N: kg/hm <sup>2</sup> )	20	20	40	60	80	100
X <sub>2</sub> (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : kg/hm <sup>2</sup> )	30	30	60	90	120	150
X <sub>3</sub> (K <sub>2</sub> O: kg/hm <sup>2</sup> )	35	35	70	105	140	175
X <sub>4</sub> (株距: cm)	2	6	8	10	12	14

### 1.3 数据统计分析

利用Microsoft Excel 2007软件分析基本统计量,利用DPS 14.10通过运算各小区绿豆产量数据,建立氮、磷、钾及密度对绿豆产量的函数模型,检验回归方程的有效性,并对模型进行降维分析及施肥措施的模拟优化<sup>[7-8]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 建立模型

通过对吉绿10号产量结果(表2)应用二次正交旋转设计原理和方法进行回归统计分析,建立

表2 二次正交旋转组合设计试验方案及产量结果

处理号	编码值				施肥量(kg/hm <sup>2</sup> )			株距(cm)	产量(kg/hm <sup>2</sup> )
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O		
1	1	1	1	1	80	120	140	12	1 190.5
2	1	1	1	-1	80	120	140	8	651.6
3	1	1	-1	1	80	120	70	12	1 166.7
4	1	1	-1	-1	80	120	70	8	1 353.3
5	1	-1	1	1	80	60	140	12	1 301.9
6	1	-1	1	-1	80	60	140	8	1 289.5
7	1	-1	-1	1	80	60	70	12	1 339.6
8	1	-1	-1	-1	80	60	70	8	1 306.8
9	-1	1	1	1	40	120	140	12	1 512.9
10	-1	1	1	-1	40	120	140	8	620.3
11	-1	1	-1	1	40	120	70	12	1 042.2
12	-1	1	-1	-1	40	120	70	8	1 022.4
13	-1	-1	1	1	40	60	140	12	979.7
14	-1	-1	1	-1	40	60	140	8	1 084.1
15	-1	-1	-1	1	40	60	70	12	1 384.3
16	-1	-1	-1	-1	40	60	70	8	1 095.6

续表 2

处理号	编码值				施肥量(kg/hm <sup>2</sup> )			株距(cm)	产量(kg/hm <sup>2</sup> )
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O		
17	-2	0	0	0	20	90	105	10	1 217.7
18	2	0	0	0	100	90	105	10	1 010.7
19	0	-2	0	0	60	30	105	10	793.8
20	0	2	0	0	60	150	105	10	1 138.5
21	0	0	-2	0	60	90	35	10	1 371.3
22	0	0	2	0	60	90	175	10	1 171.2
23	0	0	0	-2	60	90	105	6	737.8
24	0	0	0	2	60	90	105	14	512.5
25	0	0	0	0	60	90	105	10	790.7
26	0	0	0	0	60	90	105	10	1 322.3
27	0	0	0	0	60	90	105	10	1 154.1
28	0	0	0	0	60	90	105	10	968.3
29	0	0	0	0	60	90	105	10	732.6
30	0	0	0	0	60	90	105	10	953.6
31	0	0	0	0	60	90	105	10	1 106.8
32	0	0	0	0	60	90	105	10	1 213.5
33	0	0	0	0	60	90	105	10	1 344.6
34	0	0	0	0	60	90	105	10	1 225.0
35	0	0	0	0	60	90	105	10	1 149.8
36	0	0	0	0	60	90	105	10	965.9

以 X<sub>1</sub>、X<sub>2</sub>、X<sub>3</sub>、X<sub>4</sub> 为决策变量,以产量(Y)为目标函数的二次回归效应模型如下:

$$Y=1077.27+18.52X_1-22.18X_2-61.69X_3+43.48X_4+34.59X_1^2-2.42X_2^2+73.85X_3^2-87.67X_4^2-33.11X_1X_2-24.09X_1X_3-43.70X_1X_4-8.64X_2X_3+64.70X_2X_4+74.05X_3X_4 \dots\dots\dots (1)$$

对试验结果建立的回归模型(1)进行失拟性检验,即进行方差分析(表3)可知,回归方程失拟

项 F<sub>1</sub>=2.088,失拟不显著,表明除了四个栽培因素对产量的影响外,其他未控因子没有产生显著影响,可进一步对回归方程进行显著性检验。F<sub>2</sub>=1.011,回归极显著,表明所建立的二次模型与实测值拟合程度较好,所获得的模型是可靠的,可作为氮、磷、钾及密度与绿豆产量关系的函数模型,可以直接利用该模型做进一步分析和模拟寻优,用来预测产量和筛选优化施肥及密度方案。

表 3 方差分析

变异来源	平方和	自由度	均方	比值 F	P 值
X <sub>1</sub>	8 228.81	1	8 228.81	0.140 5	0.711 5
X <sub>2</sub>	11 801.53	1	11 801.53	0.201 5	0.658 1
X <sub>3</sub>	91 340.68	1	91 340.68	1.559 5	0.225 5
X <sub>4</sub>	45 379.21	1	45 379.21	0.774 8	0.388 7
X <sub>1</sub> <sup>2</sup>	38 290.69	1	38 290.69	0.653 8	0.427 8
X <sub>2</sub> <sup>2</sup>	187.53	1	187.53	0.003 2	0.955 4
X <sub>3</sub> <sup>2</sup>	174 542.01	1	174 542.01	2.980 1	0.099
X <sub>4</sub> <sup>2</sup>	245 957.60	1	245 957.60	4.199 4	0.053 1
X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	17 543.00	1	17 543.00	0.299 5	0.59
X <sub>1</sub> X <sub>3</sub>	9 283.32	1	9 283.32	0.158 5	0.694 6
X <sub>1</sub> X <sub>4</sub>	30 555.04	1	30 555.04	0.521 7	0.478 1
X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	1 193.70	1	1 193.70	0.020 4	0.887 8
X <sub>2</sub> X <sub>4</sub>	66 977.44	1	66 977.44	1.143 6	0.297 0

续表 3

变异来源	平方和	自由度	均方	比值 F	P 值
$X_3X_4$	87 734.44	1	87 734.44	1.497 9	0.234 5
回归	829 014.99	14	59 215.36	$F_2=1.011$	
剩余	1 229 964.2	21	58 569.72		
失拟	805 549.15	10	80 554.91	$F_1=2.088$	
误差	424 415.05	11	38 583.19		
总和	2 058 979.2	35			

### 2.2 模型解析

#### 2.2.1 主因子效应分析

主因子效应分析旨在分析各决策因子对绿豆产量主次地位的影响,利用本试验结果得出的回归方程(1)中一次项绝对值的大小来判断各因子对目标函数的相对重要性,四因子(氮、磷、钾及株距)对产量影响大小表现为:钾肥( $b=61.69$ )对绿豆产量影响最大,其次是株距( $b=43.48$ ),磷肥( $b=22.18$ )次之,氮肥( $b=18.52$ )最小;为了更准确得知各因子对产量的影响,依据正交设计的原理,现对主因子进行效应分析,研究其中每个单因素对产量的影响。对回归方程进行降维分析,将其它三个因子固定在零水平<sup>[9]</sup>,由方程(1)得到单因素与产量回归子模型的方程如下:

$$N \text{ 施用量: } Y=1077.27+18.52X_1+34.59X_1^2 \quad \dots(2)$$

$$P_2O_5 \text{ 施用量: } Y=1077.27-22.18X_2-2.42X_2^2 \quad \dots(3)$$

$$K_2O \text{ 施用量: } Y=1077.27-61.69X_3+73.85X_3^2$$

$$\dots\dots\dots(4)$$

$$\text{种植株距: } Y=1077.27+43.48X_4-87.67X_4^2 \quad \dots(5)$$

#### 2.2.2 其它因子零水平时单因子效应分析

将氮、钾、磷及株距四因子的不同水平值分别代入上述方程,得出各因子在不同水平下对绿豆产量函数曲线(图1)。X<sub>1</sub>与绿豆产量的关系为开口向上的抛物线,即X<sub>1</sub>在[-2, -0.27]水平区域内,随

着X<sub>1</sub>水平的增加绿豆产量降低,在[-0.27, 2]水平区域内随着X<sub>1</sub>水平的增加绿豆产量增加。即在本试验用量范围内氮肥在2水平(100 kg/hm<sup>2</sup>)时,绿豆产量达到最大值1 252.67 kg/hm<sup>2</sup>;X<sub>2</sub>与绿豆产量的关系为向下的曲线,在[-2, 2]水平区域内随着X<sub>2</sub>水平的增加,绿豆产量一直降低,即在本试验用量范围内磷肥在-2水平(30 kg/hm<sup>2</sup>)时,绿豆产量达到最大值1 111.94 kg/hm<sup>2</sup>;X<sub>3</sub>与绿豆产量的关系为开口向上的抛物线,在[-2, 0.42]水平区域内随着X<sub>3</sub>水平的增加绿豆产量降低,在[0.42, 2]水平区域内随着X<sub>3</sub>水平的增加绿豆产量增加,即在本试验用量范围内钾肥在-2水平(35 kg/hm<sup>2</sup>)时绿豆产量达到最大值1 496.07 kg/hm<sup>2</sup>;X<sub>4</sub>与绿豆产量的关系为向下的抛物线,即X<sub>4</sub>在[-2, 0.25]水平区域内随着X<sub>4</sub>水平的增加绿豆产量增加,在[0.25, 2]水平区域内随着X<sub>4</sub>水平的增加绿豆产量降低,即在本试验用量范围内株距在0.25水平(10.5 cm)时绿豆产量达到最大值1 082.6 kg/hm<sup>2</sup>。

#### 2.2.3 最佳施肥措施的模拟优化

在栽培绿豆生产中,外界因素对绿豆产量有较大影响,应用方程求得的最大产量仅仅是理论值,在栽培生产中不一定是最优。因此,不采用最大值来优化模型,而使用频次分析法进行模型优化。对所建立的氮、磷、钾及密度与产量的函数模型进行优化,将5<sup>4</sup>=625个组合在计算机上利用频次分析法找出较多出现的频数,试验产量大于1 332.05 kg/hm<sup>2</sup>的共有149个方案(表4),占全部方案的24%。所得频次转化成目标值可直接在生产中应用。绿豆产量大于1 332.05 kg/hm<sup>2</sup>的各因子合理变动范围(95%置信区间)为-0.22<X<sub>1</sub><0.29、-0.27<X<sub>2</sub><0.20、-0.95<X<sub>3</sub><-0.41、-0.19<X<sub>4</sub><0.19(表4)。即在该试验条件下,绿豆产量≥1 332.05 kg/hm<sup>2</sup>的施肥量为:N施用量55.6~65.8 kg/hm<sup>2</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>施用量81.9~96 kg/hm<sup>2</sup>、K<sub>2</sub>O施用量71.75~90.65 kg/hm<sup>2</sup>,株距9.62~10.62 cm。

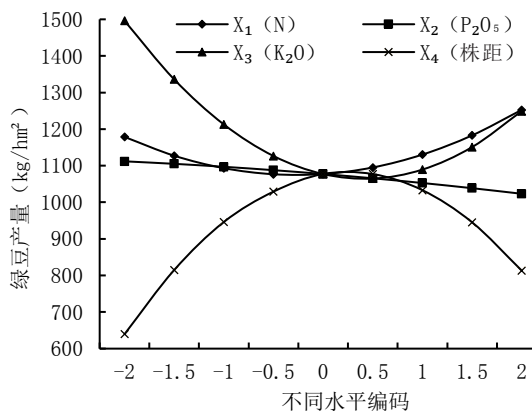


图1 各因子在不同水平下对绿豆产量函数曲线



表4 产量在1 332.05 kg/hm<sup>2</sup>以上的主要栽培措施

自变量 Xi 取值	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)		X <sub>4</sub> (株距)	
	次数	%	次数	%	次数	%	次数	%
-2	40	27	34	23	81	54	18	12
-1	23	15	29	19	18	12	34	23
0	20	13	26	17	7	4.7	43	29
1	24	16	28	19	8	5.4	38	26
2	42	28	32	21	35	23	16	10
总和	149	100	149	100	149	100	149	100
平均	0.036		-0.034		-0.685		0	
标准误	0.129 9		0.120 2		0.137 5		0.096 7	
X的95%置信区间	-0.22 ~ 0.29		-0.27 ~ 0.20		-0.95 ~ -0.41		-0.19 ~ 0.19	
自变量Z的取值区间	55.6 ~ 65.8 kg/hm <sup>2</sup>		81.9 ~ 96 kg/hm <sup>2</sup>		71.75 ~ 90.65 kg/hm <sup>2</sup>		9.62 ~ 10.62 cm	

### 3 讨论与结论

氮、磷、钾是作物生长的三大营养元素,适宜的密度更是不可或缺的因素,这四个因素是提高绿豆产量最基础也是最重要的条件。有关氮、磷、钾肥对绿豆产量的影响已有较多报道,曾玲玲等<sup>[9]</sup>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,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>。王乐政等<sup>[10]</sup>采用二次饱和和D—最优设计研究绿豆施氮量和种植密度对绿豆产量的影响,结果表明,密度效应大于施氮量效应。郭中校等<sup>[11]</sup>通过研究绿豆产量与施肥量的相互关系,提出了绿豆合理施用氮磷钾肥明显增产,不同元素对产量的影响强度为:P>K>N。高运青等<sup>[12]</sup>通过播期和施肥量对绿豆产量的效应进行了研究,结果表明合理施用氮、磷、钾肥,绿豆明显增产,氮、磷、钾适宜用量分别为40~45 kg/hm<sup>2</sup>,36~48 kg/hm<sup>2</sup>和63~92 kg/hm<sup>2</sup>。

有关氮、磷、钾肥及密度四因子对绿豆生长的影响研究较少,这四个栽培因素与绿豆产量的函数模型鲜见报道。本研究以吉绿10号为试验材料,采用四因素五水平二次正交旋转组合设计,研究吉绿10号产量与氮、磷、钾肥及株距四因子的栽培规律,为优化其栽培措施提供理论依据。在本试验条件下,主因子效应分析表明,四因子对吉绿10号产量影响大小顺序为:钾肥>株距>磷肥>氮肥。单因子效应分析表明,随着施氮肥和钾肥量的提高,绿豆产量呈先下降后上升的趋势;随着施磷量的提高,绿豆产量呈曲线下下降的趋势;随着株

距的增加,绿豆产量呈先上升后下降的趋势。模型优化结果表明,绿豆产量大于1 332.05 kg/hm<sup>2</sup>时大田试验适宜的施肥量为:N施用量55.6~65.8 kg/hm<sup>2</sup>,P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>施用量81.9~96 kg/hm<sup>2</sup>,K<sub>2</sub>O施用量71.75~90.65 kg/hm<sup>2</sup>,适宜的株距为9.62~10.62 cm。绿豆产量不仅受施肥量及密度影响,同时还受环境、气候等诸多因素的影响,因此在生产实践中应进一步筛选寻优,以提高直立型绿豆品种产量,从而更好地发挥品种的增产潜力。

#### 参考文献:

- [1] 王丽侠,程须珍,王素华.绿豆种质资源、育种及遗传研究进展[J].中国农业科学,2009,42(5):1519-1527.
- [2] 王明海,徐宁,包淑英,等.绿豆的营养成分及药用价值[J].现代农业科技,2012(6):341-342.
- [3] 王桂梅,邢宝龙,张旭丽,等.氮、磷、钾不同配比对绿豆产量的影响[J].作物杂志,2015(3):130-132.
- [4] 尹凤祥,李键波,肖焕玉,等.吉林省绿豆生产状况与发展策略[J].吉林农业科学,2002(5):52-54.
- [5] 徐宁,王明海,包淑英,等.直立型绿豆种质资源搜集、评价与种质创新[J].东北农业科学,2016,41(6):50-55.
- [6] 盖钧镒.试验统计方法[M].北京:中国农业出版社,2000:278-294.
- [7] 唐启义.DPS数据处理系统:实验设计、统计分析及数据挖掘(第2版)[M].北京:科学出版社,2010:258-262.
- [8] 徐中儒.回归分析与试验设计[M].北京:中国农业出版社,1998:143-150.
- [9] 曾玲玲,崔秀辉,李清泉,等.氮磷钾配施对绿豆产量的效应研究[J].黑龙江农业科学,2010(7):48-51.
- [10] 王乐政,高凤菊,曹鹏鹏,等.夏直播绿豆规范化栽培密度与氮肥优化配置研究[J].山东农业科学,2017,49(1):69-72.
- [11] 郭中校,王明海,包淑英,等.绿豆和紅小豆氮磷钾肥适宜用量初探[J].吉林农业科学,2010,35(2):24-26.
- [12] 高运青,徐东旭,尚启兵,等.播期和施肥量对绿豆产量的效应研究[J].河北农业科学,2011,15(6):4-6,11.

(责任编辑:王丝语)