

栽培密度和施肥水平对菜豆种子产量影响的数学模型研究^{*}

杨永政, 梁 燕

(西北农林科技大学 园艺学院, 陕西 杨凌 712100)

[摘 要] 采用二次通用旋转设计, 研究了菜豆种子产量与栽培密度、施氮量、施磷量和施钾量的定量关系, 建立了以菜豆种子产量为目标函数的数学模型, 解析了各因子对产量的主效应及互作效应。结果表明, 建立的回归模型达极显著水平, 且拟合较好; 各栽培因子对菜豆种子产量的影响为: 栽培密度> 氮> 钾> 磷; 栽培密度与氮、磷和钾的交互效应在 0.1 水平显著。最后对回归模型进行了仿真优化, 提出了菜豆种子生产优化组合方案: 栽培密度 19 508~ 21 313 万株/hm²; 施氮量 292 664~ 324 128 kg/hm²; 施磷量 93 938~ 144 023 kg/hm², 施钾量 437 400~ 492 300 kg/hm²。

[关键词] 菜豆; 栽培密度; 施肥水平; 通用旋转设计

[中图分类号] S11⁺. 4; S643 106⁺. 2 [文献标识码] A [文章编号] 1671-9387(2005)07-0049-04

菜豆(*Phaseolus vulgaris* L.)在我国栽培很普遍, 由于其味道鲜美, 营养丰富, 深受消费者喜爱。菜豆种子粒大, 生产用种量大, 而种子寿命又较短, 所以每年种子生产任务很大。菜豆种子产量除受品种和气候因素影响外, 栽培管理措施也很关键。关于栽培因子对种子产量的影响, 国内外已有一些研究^[1, 2], 但多为单项定性研究, 整体定性研究甚少。为此, 本研究采用二次通用旋转设计, 研究采种菜豆不同栽培密度和施肥水平与产量的关系, 以期在生产上制定采种菜豆的优化栽培措施提供科学依据。

1 材料与方法

试验在陕西省蔬菜花卉研究所试验地进行, 土质为壤土, 肥力中等。土壤有机质含量 16.66 g/kg, 碱解氮 85.05 mg/kg, 速效磷 15.55 mg/kg, 速效钾

120.43 mg/kg。供试菜豆品种为特嫩五号。肥料为尿素(陕西渭河化肥厂, 含 N 460 g/kg), 普通过磷酸钙(云南, 含 P₂O₅ 120 g/kg)和氯化钾(青海, 含 K₂O 600 g/kg)。

试验采用二次通用旋转设计^[3, 4], 设栽培密度(X_1)、施氮量(X_2)、施磷量(X_3)和施钾量(X_4)为自变量, 以菜豆种子产量(Y)为目标函数。各因素水平及编码见表 1。

试验共设 20 个处理, 小区面积 13.4 m² (10 m × 1.34 m)。2004-04-06 直播菜豆种子, 04-30 定苗, 每穴 3 株, 07-20 和 08-01 分 2 次采收, 风干后称重。根据试验小区的设计用肥量, 以全部磷肥、钾肥和 60% 的氮肥作为基肥, 剩余的 40% 氮肥分为 2 等份, 分别于当年的 06-05 和 06-20 追施于相应的小区。

表 1 菜豆种子产量试验因子与水平编码

Table 1 Experimental factors and level code of common bean seed yield

项目 Item	试验因子 Factor			
	$X_1/(万株 \cdot hm^{-2})$	$X_2/(kg \cdot hm^{-2})$	$X_3/(kg \cdot hm^{-2})$	$X_4/(kg \cdot hm^{-2})$
变化间距 D distance	5 625	103 500	67 500	180 000
因子设计	- 1.682	7 414	0	0
水平	- 1	11 250	69 000	45 000
Design	0	16 875	172 500	112 500
level	1	22 500	276 000	180 000
	1.682	26 336	346 600	226 000
				573 000

[收稿日期] 2004-09-31

[基金项目] 国家“十五”基础性工作项目(2002JCGZ-21)

[作者简介] 杨永政(1971-), 男, 陕西武功人, 助理研究员, 主要从事蔬菜种质资源和育种学研究。

[通讯作者] 梁 燕(1963-), 女, 陕西渭南人, 教授, 硕士生导师, 主要从事蔬菜种质资源和育种研究。

2 结果与分析

2.1 模型的建立与检验

试验处理及结果见表 2。按二次通用旋转设计的统计分析方法,得栽培密度(X_1)、氮(X_2)、磷(X_3)和钾(X_4)与产量(Y)的函数模型为:

$$Y = 2\,565\,607 + 251\,870X_1 + 196\,229X_2 + 58\,612X_3 + 126\,709X_4 - 48\,281X_1X_2 - 18\,281X_1X_3 - 4\,219X_1X_4 - 4\,219X_2X_3 - 18\,281X_2X_4 - 48\,281X_3X_4 - 145\,290X_1^2 -$$

$$51\,157X_2^2 - 23\,314X_3^2 - 23\,314X_4^2$$

对拟合度进行检验,得 $F_1 = 3\,029 < F_{0.05}(2, 3) = 9\,55$, F_1 不显著,说明本试验无其他因素的显著影响,模型是适合的,拟合不足被否定。对回归方程进行检验,得 $F_2 = 51\,182 > F_{0.01}(14, 5) = 9\,78$, F_2 在 0.01 水平上显著,说明此方程有效,可应用该方程进行优化分析。偏回归系数检验结果见表 3。

表 2 菜豆种子产量试验处理及各处理产量

Table 2 Experimental structure matrix and their yield results

区号 No.	栽培密度 Density (X_1)	N (X_2)	P (X_3)	K (X_4)	小区产量/kg Plot yield	产量/(kg·hm ⁻²) Hectare yield
1	1	1	1	1	3.74	2 805.00
2	1	1	-1	-1	3.42	2 565.00
3	1	-1	1	-1	3.21	2 407.50
4	1	-1	-1	1	3.41	2 557.50
5	-1	1	1	-1	3.12	2 340.00
6	-1	1	-1	1	3.17	2 377.50
7	-1	-1	1	1	2.64	1 980.00
8	-1	-1	-1	-1	2.08	1 560.00
9	-1.682	0	0	0	2.33	1 747.50
10	1.682	0	0	0	3.41	2 557.50
11	0	-1.682	0	0	2.79	2 092.50
12	0	1.682	0	0	3.66	2 745.00
13	0	0	-1.682	0	3.20	2 400.00
14	0	0	1.682	0	3.46	2 595.00
15	0	0	0	-1.682	2.98	2 235.00
16	0	0	0	1.682	3.68	2 760.00
17	0	0	0	0	3.36	2 520.00
18	0	0	0	0	3.48	2 610.00
19	0	0	0	0	3.45	2 587.50
20	0	0	0	0	3.40	2 550.00

表 3 菜豆种子产量函数模型的偏回归系数差异显著性

Table 3 Significant differences of error regression coefficient in mathematic model of common bean seed yield

变异来源 Source	偏回归系数 Regression coefficient	F 值 F value	差异显著性 Significance of difference
X_1	251.870	545.21	0.01
X_2	196.229	330.93	0.01
X_3	58.612	29.52	0.1
X_4	126.709	137.98	0.01
X_1X_2	-145.290	5.87	0.1
X_1X_3	-51.157	0.84	>0.3
X_1X_4	-23.314	0.05	>0.3
X_2X_3	-23.314	0.05	>0.3
X_2X_4	-48.281	0.84	>0.3
X_3X_4	-18.281	5.87	0.1
X_1^2	-4.219	189.11	0.01
X_2^2	-4.219	23.45	0.01
X_3^2	-18.281	4.87	0.1
X_4^2	-48.281	4.87	0.1

2.2 模型的解析和寻优

2.2.1 主效应分析 经过无量纲线性编码代换后,偏回归系数已经标准化,且各一次项回归系数之间,各交互项、平方项回归系数间均不相关,因此,可以由回归系数绝对值大小来直接比较各因素一次项对菜豆种子产量的影响。由表 3 可知,试验中各因素对产量影响的大小顺序是 $X_1 > X_2 > X_4 > X_3$ 。

2.2.2 单因素效应分析 直接将上述回归模型中的任意 3 个因素固定在零水平,得到其余某 1 个因素的一元偏回归子模型:

密度: $Y_1 = 2\,565\,607 + 251\,870X_1 - 145\,290X_1^2$

氮肥: $Y_2 = 2\,565\,607 + 196\,229X_2 - 51\,157X_2^2$

磷肥: $Y_3 = 2\,565\,607 + 58\,612X_3 - 23\,314X_3^2$

钾肥: $Y_4 = 2\,565\,607 + 126\,709X_4 - 23\,314X_4^2$

根据子模型作图 1。由图 1 可以看出,在设计范围内,栽培密度在 -1.682~1 水平时,产量随之显著增加,而后下降,且在 1 水平产量达到最高。氮在

- 1 682~ 1 682 水平时, 产量较显著增加, 故增施氮肥有明显的增产效果。同样, 增施钾肥也有明显的增产效果。磷对产量的效应曲线趋近于与横轴平行, 即在本试验范围内, 磷的施用量对产量影响不大。

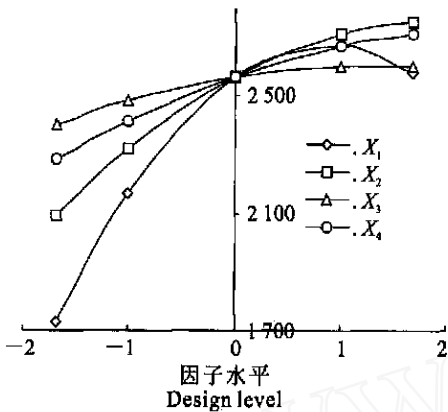


图 1 栽培密度和 N, P, K 肥用量与菜豆种子产量效应曲线

Fig 1 Yield curve affected by density and N, P, K

2 2 3 两因素交互效应分析 根据菜豆种子产量

表 4 栽培密度与氮对菜豆种子产量的交互效应

Table 4 Interactive effect between density and N on the yield of common bean seed

项目 Item		N (X ₂)					统计参数 Statistic parameter		
		- 1 682	- 1	0	1	- 1 682	$\bar{x}$	S	CV /%
		- 1 682	- 1	0	1	- 1 682	$\bar{x}$	S	CV /%
栽培密度 Density (X ₁)	- 1 682	1 119 80	1 402 49	1 731 07	1 957 34	2 052 96	1 652 73	389 15	23 55
	- 1	1 612 54	1 872 78	2 168 45	2 361 80	2 434 97	2 090 11	344 31	16 47
	0	2 090 90	2 318 22	2 565 61	2 710 68	2 750 93	2 487 27	278 95	11 22
	1	2 278 68	2 473 08	2 672 19	2 768 98	2 776 31	2 593 85	214 49	8 27
	1 682	2 240 11	2 412 07	2 578 26	2 642 13	2 627 02	2 499 92	171 56	6 86
统计参数 Statistic parameter	$\bar{x}$	1 868 41	2 095 73	2 343 11	2 488 19	2 528 44			
	S	495 45	453 39	393 13	335 34	298 11			
	CV /%	26 52	21 63	16 78	13 48	11 79			

2 2 4 最佳产量模拟寻优 经计算机模拟, 在本试验范围内, 菜豆种子的最高产量为 2 923 47 kg/hm², 对应的组合方案为 X₁ = 1, X₂ = 1 682, X₃ = 0, X₄ = 1 682, 即栽培密度为 22 500 万株/hm², 施氮量为 346 600 kg/hm², 施磷量为 112 500 kg/hm², 施钾量为 573 000 kg/hm²。

对其产量大于 2 805 00 kg/hm² 的 35 个方案进行频数分析, 结果见表 5。表 5 表明, 菜豆种子产量大于 2 805 00 kg/hm² 的栽培方案为: 栽培密度为 19 508~ 21 313 万株/hm², 施氮量 292 664~ 324 128 kg/hm², 施磷量 93 938 ~ 144 023 kg/hm², 施钾量为 437 400~ 492 300 kg/hm²。如果

的回归模型可知, X₁X₂, X₃X₄ 的交互作用较 X₁X₃, X₁X₄, X₂X₃, X₂X₄ 大, 且在 0 1 水平时显著。这里仅就密度和氮的交互作用加以分析。将磷和钾固定在 0 水平上, 可得如下方程:

$$Y_{1,2} = 2\,565\,607 + 251\,870X_1 + 196\,229X_2 - 48\,281X_1X_2 - 145\,290X_1^2 - 51\,157X_2^2$$

将 X₁, X₂ 的各水平编码值带入上式得表 4。由表 4 可以看出, 当施磷量为 112 500 kg/hm² (0 水平), 施钾量为 225 000 kg/hm² (0 水平), 栽培密度为 22 500 万株/hm² (1 水平), 施氮量为 346 600 kg/hm² (1 682 水平) 时, 菜豆种子产量最高, 为 2 776 31 kg/hm²; 栽培密度、施氮量均在 - 1 682 水平时, 菜豆种子产量最低, 为 1 119 08 kg/hm²。在不同栽培密度下, 随施氮量的增加, 产量改变的变异度不同, 且变异度随施氮量的增加而减少。在不同氮水平下, 随着密度的增加, 产量改变的变异度有同样的变化趋势。

按此方案进行生产, 菜豆种子产量有 95% 的可能高于 2 805 00 kg/hm²。

2 3 模型检验

2004 年, 在陕西省蔬菜所安排了单因子试验, 小区试验结果表明: 当栽培密度为 20 万株/hm², N, P, K 施用量分别为 300, 100 和 450 kg/hm² 时, 菜豆种子产量可达 2 724 64 kg/hm², 与模型方程求得的产量值很接近。在扶风菜豆采种基地的 2 hm² 示范田, 按产量为 2 600 kg/hm² 标准设计的密度和施肥水平, 平均产量达 2 650 50 kg/hm², 说明此模型对采种菜豆的栽培有较好的指导作用, 但大面积应用则有待于进一步证实。

表 5 菜豆种子产量大于 2 805 00 kg/hm² 的频数分析Table 5 Frequency analysis of yield over 2 805 00 kg/hm²

因素 Factors	密度 Density (X ₁)		N (X ₂)		P (X ₃)		K (X ₄)	
	次数 TN	频率 F	次数 TN	频率 F	次数 TN	频率 F	次数 TN	频率 F
- 1 682	0	0 000	0	0 000	4	0 114	0	0 000
- 1 000	0	0 000	0	0 000	8	0 229	0	0 000
0 000	13	0 371	2	0 057	9	0 257	2	0 057
1 000	22	0 629	14	0 400	8	0 229	13	0 371
1 682	0	0 000	19	0 543	6	0 171	20	0 571
合计 Total	35	1 000	35	1 000	35	1 000	35	1 000
平均值 $\bar{x}$	0 629		1 313		0 096		1 332	
标准差 s	0 082		0 078		0 189		0 078	
95% 的置信区间 95% confidence interval	0 468~ 0 789		1 161~ 1 465		- 0 275~ 0 467		1 180~ 1 485	
农艺措施 Cultural measure	19 508~ 21 313		292 664~ 324 128		93 938~ 144 023		437 400~ 492 300	

3 小结与讨论

试验选取栽培密度和施氮量、施磷量、施钾量 4 个因子为研究对象,建立了以菜豆种子产量为目标函数的数学模型,经检验达极显著水平。单因子对菜豆种子产量的影响均符合二次曲线关系,密度、氮和钾对产量有极显著影响,而磷对产量影响相对较小,各栽培因子对菜豆种子产量作用的大小顺序为:栽培密度> 氮> 钾> 磷。栽培密度与氮、磷和钾的交互作用相对较大,经计算机模拟分析,确定了菜豆种子

产量达 2 805 00 kg/hm² 以上时的栽培因子优化组合方案为:密度 19 508~ 21 313 万株/hm²; 氮 292 664~ 324 128 kg/hm²; 磷 93 938~ 144 023 kg/hm², 钾 437 400~ 492 300 kg/hm²。

在实践中,菜豆种子生产受许多因子影响,如播期、降雨、病虫害、温度等,不同年份因气候条件不同,各栽培因子对菜豆种子产量的影响也有差别,因子间的互作效应也不尽相同,因此,今后仍需对此作进一步研究。

[参考文献]

- [1] 中国农科院蔬菜花卉研究所. 中国蔬菜栽培学[M]. 北京: 农业出版社, 1993 668- 677.
- [2] 《蔬菜采种技术》编写组. 蔬菜采种技术[M]. 天津: 天津科学技术出版社, 1990 234- 253.
- [3] 袁志发, 周静宇. 试验设计与分析[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000 366- 387.
- [4] 林关石, 郭培才. 陕北黄土高原春大豆农艺措施数学模型研究[J]. 大豆科学, 1990, 2(4): 323- 329.

Studies on mathematic model of planting density and fertilization affecting the yield of common bean seed

YANG Yong-zheng, LIANG Yan

(College of Horticulture, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The relationships of common bean seed yield and density, nitrogen, phosphorus, potassium fertilizers were studied, and a mathematic model involving the four factors and common bean seed yield was established by using general rotational regression design. The results indicated that, under the condition of this experiment design, factors affecting common bean yield were in such an order as plant density > nitrogen fertilizers > potassium fertilizers > phosphorus fertilizers, and the interactive effect between density and nitrogen, potassium and phosphorus on yield were significant at the level of 0.1. The optimum comprehensive practices of high yield were: density: 19 508~ 21 313 × 10⁴ plant/hm²; N 292 664~ 324 128 kg/hm²; P₂O₅ 93 938~ 144 023 kg/hm²; K₂O 437 400~ 492 300 kg/hm².

Key words: common bean; planting density; fertilizer application; general design of rotational regression