

黑河九号大豆综合高产农艺措施数学模型分析

陈质卿 郑殿甫 王克玉 魏永阁 陈玉萍 赵玉英

(黑龙江省农业科学院黑河农业科学研究所)

马景瑞 刘庆业 宋贵庆 臧石柱

(德都县科委)

(黑河市农业技术推广中心)

提 要

本试验应用二次回归正交旋转试验设计方法研究了黑河九号大豆主要栽培因子(密度、氮肥、磷肥和钾肥)与大豆产量的关系,建立了黑河九号大豆在本省第四积温带黑河地区土壤中等肥力条件下的高产栽培数学模型。通过微机对模型的解析,得出各因子对产量效应的主次关系,两因子搭配的产量效应以及等产量线图。通过边际产量分析了经济效益,并通过频数分析,得出指定产量水平下的最佳综合高产农艺措施组合方案,为黑河九号大豆大面积生产规范化栽培提供了依据。

关键词 大豆;综合农艺措施;数学模型

前 言

黑河九号大豆系黑龙江省农业科学院黑河农业科学研究所1989年育成,黑龙江省于1990年定名推广的新品种。该品种具有高产、质佳、熟期适合,抗灰斑病等优点,目前在黑龙江省第四积温带迅速推广,种植面积已达150余万亩,成为该区主栽品种之一。为寻求黑河九号大豆在本省第四积温带黑河地区的最佳综合高产农艺措施组合方案,1990和

• 本文承蒙东北农学院张瑞忠教授审阅,谨此致谢。

本文于1992年4月29日收到。

This paper was received on April 29, 1992.

1991年我们应用二次回归正交旋转试验设计方法,对密度、氮肥、磷肥和钾肥的施用量与大豆产量的关系进行了试验研究,两年试验结果均较接近。现以1991年试验研究结果建立的黑河九号大豆品种综合高产农艺措施产量的数学模型,加以系统的分析,并通过微机模拟试验,演绎出各栽培因子按不同水平组合的产量变化,定量的描述其效应规律,寻求最佳综合高产农艺措施组合方案。所求的最佳综合高产农艺措施方案与本所1991年在德都县三万亩大豆亩产200公斤高产攻关田所采取的综合农艺措施较为接近,而实际平均亩产达到了218.4公斤,得到了比较满意的反馈效果。

一、试验设计

采用二次回归正交旋转设计,选用因子为密度、氮肥(尿素)、磷肥(三料过石)、钾肥(硫酸钾)为决策变量。因素水平线性编码如表1。

表1 因素水平线性编码表

Table 1 Level of factors and linear code

因 素 Factors	零水平 Level zero	间 距 Class interval	r=2 变量设计水平及线性编码				
			-2	-1	0	1	2
x_1 (密度) Density	30 株/m ² 30 plants/m ²	10	10	20	30	40	50
x_2 (尿素) Urea	4 公斤/亩 4 kg/mu	2	0	2	4	6	8
x_3 (三料磷) $C_2(H_2PO_4)_3$	10 公斤/亩 10kg/mu	5	0	5	10	15	20
x_4 (硫酸钾) K_2SO_4	5 公斤/亩 5 kg/mu	2.5	0	2.5	5	7.5	10

注:尿素含N 46%、三料过石含P₂O₅ 46%、硫酸钾含K₂O 48%。

试验共36个小区,分为三个正交区组,(田间小区布置图略)。行长6m,五行区,行距0.66m,小区面积为19.8m²。

试验地为草甸暗棕壤,前作小麦、土壤肥力中等、均匀,0—20厘米耕层有机质4.2%、pH6.2,全氮0.2%、全磷0.18%、全钾2.2%,每百克土水解氮6.2毫克、速效磷4.8毫克、速效钾13.5毫克。

二、试验结果及分析

1. 产量结果

秋收时每小区割去两边行及两端(各0.5m)实收面积为9.9m²,脱粒风干后折合亩产。将试验结构矩阵及产量结果列入表2。

2. 产量数学模型

将试验的产量结果应用东北农学院专用“旋转设计试验数据的计算程序包”在微机APPLE—II上运算,得出大豆产量与各因素间的回归模型如下: $y = 214.1417 + 10.3078x_1 + 5.3292x_2 + 4.1292x_3 + 2.9292x_4 - 1.1438x_1x_2 - 1.6187x_1x_3 + 0.8563x_1x_4 - 0.4063x_2x_3 - 0.3313x_2x_4 + 1.4187x_3x_4 - 13.8073x_1^2 - 2.7823x_2^2 - 1.2073x_3^2 - 1.5323x_4^2$

表 2 试验结构矩阵及产量结果

Table 2 Experiment structure matrix and yield result

小区号	x_1 密度	x_2 尿 素	x_3 三料过石	x_4 硫酸钾	y 亩产(公斤)
Plot No.	Density	Urea	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$	K_2SO_4	Yield
1	1	1	1	1	213.1
2	1	1	1	-1	209.5
3	1	1	-1	1	210.3
4	1	1	-1	-1	206.4
5	1	-1	1	1	207.5
6	1	-1	1	-1	198.5
7	1	-1	-1	1	204.2
8	1	-1	-1	-1	199.8
9	-1	1	1	1	195.4
10	-1	1	1	-1	185.6
11	-1	1	-1	1	181.7
12	-1	1	-1	-1	187.6
13	-1	-1	1	1	182.7
14	-1	-1	1	-1	179.7
15	-1	-1	-1	1	170.3
16	-1	-1	-1	-1	170.0
17	2	0	0	0	173.9
18	-2	0	0	0	147.6
19	0	2	0	0	217.6
20	0	-2	0	0	192.1
21	0	0	2	0	225.5
22	0	0	-2	0	196.8
23	0	0	0	2	220.4
24	0	0	0	-2	199.3
25	0	0	0	0	212.1
26	0	0	0	0	200.4
27	0	0	0	0	206.0
28	0	0	0	0	210.1
29	0	0	0	0	212.7
30	0	0	0	0	227.8
31	0	0	0	0	218.5
32	0	0	0	0	221.3
33	0	0	0	0	219.1
34	0	0	0	0	224.4
35	0	0	0	0	204.9
36	0	0	0	0	212.4

3. 回归方程的检验

表 3 方差分析表
Table 3 Mean square analysis

变异来源	平方和	自由度	方 差	F 值及显著性
总 和	11667.6502	35		$F_1=0.666177688 < F_{0.05}(10, 11)=2.86$
回 归	10495.2239	14	747.08742	
剩 余	1208.62632	21	57.55363	
失 拟	455.87705	10	45.5877	$F_2=12.98077 > F_{0.01}(14, 21)=3.07$
误 差	752.749208	11	68.43175	

对回归方程进行方差分析与显著性检验结果(如表 3)。F₁ 检验不显著,说明了回归方程与实际情况拟合较好;F₂ 检验达到极显著水准,说明回归方程是有效的。进一步对回归系数进行 t 测验,结果 t₁、t₂、t₁₁ 达到极显著水平,t₃ 达到显著水平,t₄、t₂₂ 均达到了 t_{0.10} 水平。

通过计算得知,各试验因子对产量的贡献率分别为:密度,1.9696;尿素,1.6110;三料过石,0.9312;硫酸钾,0.83660 亦即各试验因子对产量的作用大小依次为:密度>尿素>三料过石>硫酸钾。说明在各项因子中重要的是确定合理的密度和适宜的氮磷肥料,其次是适当考虑钾肥的施用量。

三、模型解析与讨论

1. 模型的最优解

在微机上求得回归方程的极大值作为理论上的最优解,本试验最高亩产为 227.8 公斤,其相应的各因子的极值点分别是:

x_1 (密度)=0.291(32.9 株/m²); x_2 (尿素)=0.639(5.28 公斤/亩); x_3 (三料磷)=2(20 公斤/亩); x_4 (硫酸钾)=1.894(9.7 公斤/亩)。

2. 对单项因子的经济效益分析

对单项因子的回归子模型求一阶偏导函数,得到各因子在不同水平下的边际产量,以此判断其经济效益。各子模型的一阶偏导函数分别为:

$\frac{\delta y}{\delta x_1}=10.3708-27.6164x_1, \frac{\delta y}{\delta x_2}=5.3292-5.5646x_2;$

$\frac{\delta y}{\delta x_3}=4.1292-2.4146x_3, \frac{\delta y}{\delta x_4}=2.9292-3.0646x_4$

求得的各因子在不同水平下(其它因子均为 0 水平)的边际产量列入表 4。

从表 4 可见,各因子在低水平时边际产量较高,在零水平时边际产量仍为正值,而在高水平时边际产量则为负。如果在同一水平上再加一公斤肥料投入所增产大豆的产值与一公斤肥料价格之比等於 0 时,这时生产者的经济效益最大。

3. 因子间交互作用的分析

通过 t 测验得知密度与尿素,密度与三料磷,三料磷与硫酸钾各因子之间有一定的交互作用,分别接近于 t_{0.5}、t_{0.1}和大于 t_{0.5}。将模型降至二维,求得 x_1x_2 、 x_1x_3 、 x_3x_4 等两因子的二维数学模型,并且计算出循各两因子间交互效应对大豆产量的影响两向表。应用微机绘

表 4 边际产量
Table 4 Marginal yield

因素 Code Factors	-2	-1	0	1	2
x_1 (密度) Density	65.6	37.99	10.37	-17.24	-41.86
x_2 (尿素) Urea	16.46 (8.23)	10.89 (5.45)	5.33 (2.67)	-0.24 (-0.12)	-5.80 (-2.90)
x_3 (三料过石) $Ca(H_2PO_4)_2$	8.96 (1.79)	5.54 (1.31)	4.13 (0.83)	1.72 (0.34)	-0.70 (-0.14)
x_4 (硫酸钾) K_2SO_4	9.06 (3.62)	5.99 (2.46)	2.93 (1.17)	-0.14 (-0.05)	-3.20 (-1.28)

注:表中数字系各单因子在不同水平下,每增减一个编码值时增减大豆公斤数,表中括弧内数字为每增减一公斤肥料投入时增减大豆公斤数。

出密度与尿素;密度与三料磷;三料磷与硫酸钾之间二因子交互效应等产线图(图 1、图 2、图 3)。

密度(x_1)与尿素(x_2)两因子的数学子模型为:

$$\hat{y}_{1,2} = 214.14 + 10.37x_1 + 5.33x_2 - 1.14x_1x_2 - 13.81x_1^2 - 2.78x_2^2$$

密度与尿素两因子交互效应对大豆产量的影响,如表 5 及图 1。从表 5 与图 1 可见,尿素在 0 水平以上时,产量随密度的逐渐加大而提高;而尿素在 0 水平以下时,则产量随两因子水平的共同提高而明显增加,即表现了较明显的交互作用;当密度(x_1)和尿素(x_2)的水平分别接近于 0.3 和 0.6 时达到最高产量,此时再加大密度则呈现减产趋势,再增加尿素用量也无增产效应。

表 5 密度与尿素交互效应对大豆产量的影响

Table 5 Interactive effect of density and urea of soybean yield

$\begin{matrix} x_1 \\ x_2 \end{matrix}$		密 度(Density)					\bar{x}	sx	c. v%
		-2	-1	0	1	2			
(Urea) 尿素	-2	111.8081	160.847	192.354	191.205	162.44	163.731	32.7111	19.98
	-1	127.272	180.708	206.03	209.067	173.83	179.48	32.74	18.24
	0	138.171	183.954	214.1417	210.705	179.554	186.53	30.59	16.40
	1	143.005	193.654	214.142	212.708	179.913	188.56	29.09	15.43
	2	142.27	191.78	213.67	207.947	174.668	186.06	28.82	15.49
\bar{x}		152.61	183.39	208.07	206.21	174.09			
sx		13.12	13.55	9.44	8.53	7.09			
c. v%		9.89	7.38	4.53	4.14	4.07			

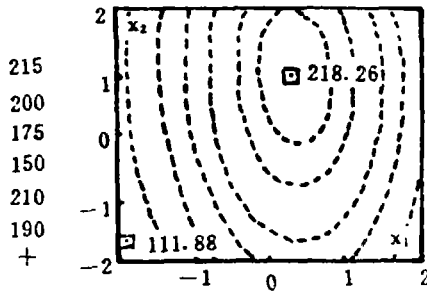


图1 密度与尿素交互效应对大豆产量的影响

Fig. 1 Interactive effect of density and Urea on soybean yield

密度(x_1)与三料磷(x_3)两因子的数学子模型为:

$$\hat{y}_{1,3}=214.14+10.37x_1+4.13x_3-1.62x_1x_3-13.81x_1^2-1.21x_3^2$$

密度与三料磷二因子交互作用对产量的影响,如图2。由图2可见,密度在接近0.3水平以下时产量随两因子水平的共同提高而增加,表现了一定的交互作用,当密度在0.3左右时,其产量随磷肥用量的提高而迅速增加;当密度在1.0水平左右,再增加磷肥则基本没有增产效应。

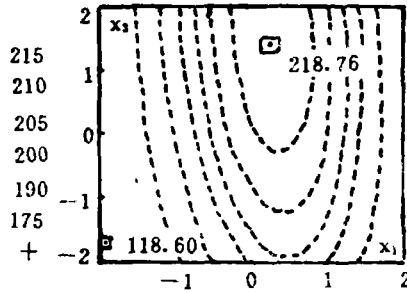


图2 密度与三料磷交互效应对大豆产量的影响

Fig. 2 Interactivel effecty of density and $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_3$ on soybean yield

三料磷(x_3)与硫酸钾(x_4)两因子的数学子模型为:

$$\hat{y}_{3,4}=214.14+4.13x_3+2.93x_4+1.42x_3x_4-1.21x_3^2-1.53x_4^2$$

三料磷与硫酸钾二因子交互效应对产量的影响,如图3。从图3可见,三料磷在低水平时逐渐提高硫酸钾施用量,其增产效果很小,当两因水平共同提高时其增产效果明显提高,表现了较明显的交互效应。

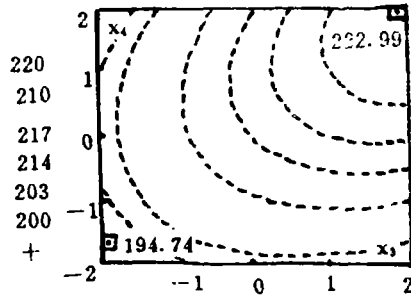


图3 三料磷与硫酸钾交互效应对大豆产量的影响

Fig. 3 Interactive effect of $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_3$ and K_2SO_4 on soybean yield

4. 最佳农艺措施组合的选择

用 APPLE-Ⅰ 微机对函数模型进行模拟试验,得出指定产量范围内各因素水平的搭配方案。通过频数分析,得出黑河九号大豆亩产 200 公斤以上综合农艺措施组合方案。频数分析取步长为 1,预测点共 625 个,兹将其中 147 个亩产大于 200 公斤的措施组合的频数分析列入表 6。

表 6 亩产 200 公斤以上综合农艺措施频数
Table 6 Agricultural integrated measures of yield more than 200kg mu

因 素 Factors 编 码 Code	x ₁ (密 度) (Deusity)		x ₂ (尿 素) (Urea)		x ₃ (三料磷) (Ca(H ₂ PO ₄) ₃)		x ₄ (硫酸钾) (K ₂ SO ₄)	
	次 数 Time	频率(%) Frequency	次 数 Time	频率(%) Frequency	次 数 Time	频率(%) Frequency	次 数 Time	频率(%) Frequency
-2	0	0	3	2	12	8.2	9	6.1
-1	4	2.7	24	16.3	29	19.7	29	19.7
0	80	54.4	39	26.5	34	23.1	36	24.5
1	63	42.9	44	29.9	34	23.1	39	26.5
2	0	0	37.0	252	38	25.9	34	23.1
\bar{x}	0.4014		0.5986		0.3878		0.4082	
sx	0.0448		0.091		0.1056		0.0999	
95%的置信区间 Fiducial Interval	0.3136~0.4891		0.4221~0.7752		0.1808~0.5947		0.2121~0.6039	
农艺措施 Agricultural measures	33.1~34.8 株/m ² plants/m ²		4.84~5.55 公斤/亩 kg/mu		10.9~12.97 公斤/亩 kg/mu		5.53~6.5 公斤/亩 kg/mu	

根据频数分析得出亩产高於 200 公斤的综合农艺措施为:密度 33.1~34.8 株/m²;尿素 4.84~5.55 公斤/亩;三料过石 10.9~12.97 公斤/亩;硫酸钾 5.53~6.5 公斤/亩。

四、结 论

1. 黑河九号大豆高产数学模型的建立,对黑河地区第四积温带大豆高产栽培技术提供了理论依据,并具有一定的指导意义。

2. 黑河九号亩产 200 公斤的最佳综合农艺措施组合方案为:平方米保苗 33.1~34.8 株,每亩施尿素 4.84~5.55 公斤,三料磷 10.9~12.97 公斤,硫酸钾 5.53~6.5 公斤。

3. 在黑河地区第四积温带土壤中等肥力条件下,主要栽培因子对大豆产量效应的主次关系为:密度>氮肥>磷肥>钾肥。在高产栽培时重要的是确定合理的密度和适宜的氮、磷肥,其次是适当的施用钾肥。

参 考 文 献

[1] 张瑞忠等,1984 年,超早熟大豆东农 35 号综合农艺措施的产量函数模型,大豆科学,Vol. 3(4),302~312
[2] 徐中儒,1986 年农业试验最优回归设计,黑龙江科学技术出版社,338--389

**A MATHEMATICAL MODEL ANALYSIS OF COMPOSITE HIGH-YIELD
AGRONOMIC MEASURES ON SOYBEAN HEIHE No. 9**

Chen Zhiqing Zheng Dianpu Wang Keyu
Wei Yongge Chen Yuping Zhao Yuying

(Heihe Agricultural Research Institute)

Ma Jingrui Liu Qingye

(Dedu Science and Technology Commission)

Song Guiqing Zhang Shizhu

(Heihe Agricultural Technical Extension Center)

Abstract

A high-yield mathematical model of cultivation methods on Heihe No. 9 soybean had been built up for Heihe region in zone No. 4 of Heilongjiang accumulated temperature zone under intermediate soil fertility condition. Method of quadratic regression orthogonal rotation design was used to study the relationship between the main soybean cultivation factors (density, N, P, K) and soybean yield. The analysis of Mathematical Model was conducted by computer. Different effect of cultivation factors on yield and the combinative effect on yield of 2 factors and the equal yield scheme had been worked out. The economic effectiveness was analyzed by use of marginal yield. The optimal combinative scheme of composite high-yield agronomic measures for top yield level was showed by the frequency number analysis. Scientific evidence was furnished for Heihe No. 9 soybean on model cultivation in large areas.

Key words Soybean; Composite agronomic measures; Mathematical Model