

黑河54号大豆品种综合农艺措施 产量函数模型分析*

宋 贵 庆

(黑河市农业科学研究所)

提 要

本试验应用二次回归正交旋转设计试验方法研究了黑河54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,并且借助微机模拟试验(频数分析),求出指定产量水平下的最佳农艺措施,为总结大豆栽培经验与指导生产提供了新的思路。

农作物产量的形成是多种因素综合作用的结果。过去,在研究栽培因子对农作物产量的影响时,多采用单因子试验方法。既使进行了一些复因子试验,也因种种条件的限制,实际上也很难描述所研究的因子与产量的关系。为了寻求黑河54号大豆在我市第四积温带最佳综合农艺措施方案,我们于1984年应用二次回归正交旋转设计方法,在黑河市农业科学研究所试验地(黑河市东南郊)研究了黑河54号大豆的数学模型,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情况,定量的描述其规律,寻求最佳综合农艺措施方案和最优化生产条件,作为我市黑河54号大豆生产技术规范决策的科学依根,以指导大豆生产,达到增产增收的目的。

一、试 验 设 计

试验采用二次回归正交旋转设计,选用的试验因子:密度,氮肥(尿素),磷肥(三料磷),钾肥(硫酸钾)。自变量设计水平和编码如表1。

试验共36个小区,小区面积19.8米²,行长5米,6行区,垅宽0.66米,分成三个正交区组。其他农艺措施均同当地习惯。

试验地土壤为壤质草甸土,前作为小麦,土壤基础肥力分析如下。

全 N 0.191%	碱解 N 15.30mg/百克土	pH 6.3
全 P 0.145%	速效 P 3.90mg/百克土	有机质 3.42%
全 K 2.000%	速效钾 20.50mg/百克土	

* 本文承蒙东北农学院张瑞忠副教授审阅,并提出宝贵的修改意见,谨此致谢。
本文于1985年2月14日收到

表 1. 自变量因素水平编码

Table. Independent Variable design level and coding

因 素 Factors	零 水 平 zero level	间 距 class interval	r=2 自变量设计水平及编码				
			-2	-1	0	1	2
x ₁ (密度) (density)	40 株/m ²	10	20	30	40	50	60
x ₂ (尿素) (urea)	4 斤/亩	2	0	2	4	6	8
x ₃ (三料磷) (phosphorus)	6 斤/亩	3	0	3	6	9	12
x ₄ (硫酸钾) (K ₂ SO ₄)	6 斤/亩	3	0	3	6	9	12

注：尿素含 N 46%，三料磷含 P₂O₅ 46%，硫酸钾含 K₂O 48%。

二、试验结果

1. 产量结果

试验于大豆成熟后，每小区割去边际两行，实收中间四行，计 13.2 米²，脱粒后折合亩产。现将试验结构矩阵及产量结果列入表 2。

表 2. 试验结构矩阵及产量结果 (1984 黑河市)

Table 2. Experiment structure matrix and yield result

小 区 号 Plot No.	x ₁ 密 度 Density	x ₂ 尿 素 urea	x ₃ 三料磷 Phosphorus	x ₄ 硫酸钾 K ₂ SO ₄	y 亩产 (斤) Yield
1	1	1	1	1	292.9
2	1	1	1	-1	272.7
3	1	1	-1	1	252.5
4	1	1	-1	-1	262.6
5	1	-1	1	1	252.5
6	1	-1	1	-1	257.6
7	1	-1	-1	1	242.4
8	1	-1	-1	-1	247.5
9	-1	1	1	1	272.7
10	-1	1	1	-1	252.5
11	-1	1	-1	1	237.4
12	-1	1	-1	-1	242.4
13	-1	-1	1	1	257.6
14	-1	-1	1	-1	257.6
15	-1	-1	-1	1	237.4
16	-1	-1	-1	-1	237.4
17	2	0	0	0	277.8

(接上表)

小 区 号 Plot No	x ₁ 密 度 density	x ₂ 尿 素 urea	x ₃ 三料磷 Phosphorus	x ₄ 硫酸钾 K ₂ SO ₄	y 亩产(斤) Yield
18	- 2	0	0	0	242.4
19	0	2	0	0	272.7
20	0	- 2	0	0	257.5
21	0	0	2	0	313.2
22	0	0	- 2	0	242.4
23	0	0	0	2	282.9
24	0	0	0	- 2	277.8
25	0	0	0	0	282.8
26	0	0	0	0	298.0
27	0	0	0	0	287.7
28	0	0	0	0	272.7
29	0	0	0	0	287.7
30	0	0	0	0	282.6
31	0	0	0	0	282.9
32	0	0	0	0	277.8
33	0	0	0	0	272.7
34	0	0	0	0	282.8
35	0	0	0	0	282.9
36	0	0	0	0	277.8

2. 产量函数模型

将表 2 结果使用“旋转设计试验数据的计算程序包”在微型机 APPLE- II 上进行运算，得出回归模型如下：

$$\hat{y} = 275.6833 + 6.5208x_1 + 5.2542x_2 + 12.4208x_3 + 1.5042x_4 + 4.1063x_1x_2$$
$$- 0.9438x_1x_3 - 0.9563x_1x_4 + 2.2063x_2x_3 + 2.2188x_2x_4 + 3.4688x_3x_4$$
$$- 6.5802x_1^2 - 5.3302x_2^2 - 2.1552x_3^2 - 1.5177x_4^2$$

表 3. 方 差 分 析 表
Table 3. Mean square analysis

来 源	平 方 和	自 由 度	均 方	F 比 及 显 著 性
总 和	11773.1169	35		$F_1 = 1.958 < F_{0.05}(10, 11) = 2.85$
回 归	8577.2815	14	212.6630	
剩 余	3195.8354	21	152.1826	$F_2 = 4.028 > F_{0.01}(14, 21) = 3.07$
拟 合	2046.4189	10	204.6419	
误 差	1149.4165	11	104.4924	

通过统计量检验可知, 回归模型与实际情况拟合较好, 模型是有效的。进一步对回归系数进行 t -检验, 其中: 回归系数 $b_1, b_2, b_{2.2}$ 达到显著水平, b_3 和 $b_{1.1}$ 达到极显著水平, 此外, $b_{1.2}, b_{3.4}$ 和 $b_{3.3}$ 也达到一定水平。

三、模型解析与讨论

1. 模型的最优解及主成分分析

在微机上求极大值作为理论上的最优解, 在本试验条件下最高亩产为 313.83 斤。相应的措施的极值点为:

$$\begin{aligned} x_1 (\text{密度}) &= 0.742 (47.4 \text{ 株}/\text{m}^2); & x_2 (\text{尿素}) &= 1.791 (7.58 \text{ 斤}/\text{亩}); \\ x_3 (\text{三料磷}) &= 2 (12 \text{ 斤}/\text{亩}); & x_4 (\text{硫酸钾}) &= 1.999 (12 \text{ 斤}/\text{亩})。 \end{aligned}$$

应用微机对方程进行正交变换, 得标准方程为:

$$\begin{aligned} \hat{y} &= 275.6833 + 3.5933y_1 + 4.8609y_2 + 9.6475y_3 + 9.7929y_4 - 8.3689y_1^2 \\ &\quad - 3.9854y_2^2 - 3.5853y_3^2 + 0.3563y_4^2 \end{aligned}$$

以标准方程的二次项权衡每个因子对产量的影响: 密度 > 尿素 > 三料过石 > 硫酸钾。由此可见, 在我市第四积温带种植黑河 54 号品种, 最重要的是确定合理的密度, 其次是适量的氮肥和磷肥, 而钾肥的作用很小, 可以不施。

2. 单项栽培因子的经济效益分析

对单变量回归子模型求一阶偏导数, 即可得各因子在不同水平下的边际产量。亦即该因子在不同水平下再增加一个编码值的增产效应。根据所加措施投入的成本与相对应的增产产值之比, 可以判断其经济效益。如果所加措施的成本等于相对应的增产产值时, 即应停止增加投入。

各子模型的一阶偏导函数是:

$$\begin{aligned} \frac{dy}{dx_1} &= 6.5208 - 13.1604x_1, & \frac{dy}{dx_3} &= 12.4208 - 4.3104x_3, \\ \frac{dy}{dx_2} &= 5.2542 - 10.6604x_2, & \frac{dy}{dx_4} &= 1.0542 - 3.3540x_4. \end{aligned}$$

通过表 4 可以看出, 在亩施三料磷 3 斤 (-1) 水平时, 每增施一斤三料磷, 可以增产大豆 5.88 斤, 折合每亩增加一元化肥投资 (买三料磷) 可增收 4.88 元; 但在亩施三料磷 12 斤 (+2) 水平时, 再增施一斤三料磷, 则只能增产大豆 1.27 斤, 折合每增加一元化肥投资就只能增收 0.33 元。根据边际产量分析, 就可以按农户的具体条件和对产量或净收入的不同要求, 选定适宜的农艺措施水平。

表 4. 边 际 产 量
Table 4. Marginal yield

编 码 因 素 Factors Code	- 2	- 1	0	1	2
x_1 (密度) Density	32.84	19.88	6.52	-6.64	-19.80
x_2 (尿素) urea	(13.29) 26.58	(7.96) 15.91	(2.63) 5.25	(-2.71) -5.41	(-8.04) -16.07
x_3 (三料磷) Phosphorous	(7.01) 21.04	(5.58) 16.73	(4.41) 12.42	(2.70) 8.11	(1.72) 3.80
x_4 (硫酸钾) K_2SO_4	7.13	4.09	1.05	-1.99	-5.01

注: 表内数字为各因素, 在该水平时, 增加一个编码值亩增产大豆斤数。括弧内数字为每增加一斤化肥时增产大豆斤数。

3. 两个因素交互效应的分析

将模型降至二维, 经计算求出密度 (x_1) 与尿素 (x_2) 两因子的函数子模型, 并算出密度与尿素两因子交互效应对大豆产量的影响, 列入表 5。

$$y_{1.2} = 275.6833 + 6.5208x_1 + 5.2542x_2 + 4.1063x_1x_2 - 6.5802x_1^2 - 5.3302x_2^2$$

表 5. 密度与尿素交互效应对大豆产量的影响
Table 5. Effect of interaction between density and N fertilizer

x_1	x_2	尿 素 (urea)					\bar{x}	S_x	C.V%
		- 2	- 1	0	1	2			
(Density) 密 度	- 2	202.94	233.96	236.32	228.02	209.06	226.66	11.02	4.88
	- 1	238.98	256.11	262.58	258.39	243.54	251.92	10.13	4.02
	0	243.86	265.10	275.68	275.60	264.86	265.02	12.98	4.90
	1	235.58	260.93	275.62	279.65	273.02	264.96	17.85	6.74
	2	214.14	243.60	262.40	270.54	268.02	251.74	23.52	9.34
\bar{x}		230.70	251.94	262.52	262.44	251.70			
S_x		12.60	12.89	16.08	20.83	26.36			
C.V%		5.46	5.11	6.12	7.94	10.47			

单位: 市斤/亩

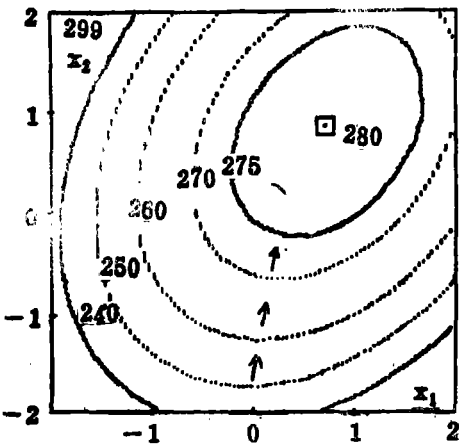


图 1. 密度与尿素二因子交互效应对大豆产量的影响

Fig 1. Interaction between density and N fertilizer

应用微机会出密度与尿素二因子交互效应等产线图。如图 1。

从表 5 与图 1 可以明显看到，在密度较低的情况下 (20—30株/m²)，增加尿素施用量，大豆产量未见明显增加；在密度适宜时 (40株/m²左右)，则在一定范围内 (尿素编码值小于 1)，大豆产量随尿素施用量的增加而提高，但如继续增加尿素施用量 (尿素编码值超过 1 时)，产量反而下降。

尿素 (x₂) 与三料磷 (x₃) 两因素函数子模型为：

$$\hat{y} = 275.6833 + 5.2542x_2 + 12.4208x_3 + 2.2063x_2x_3 - 5.3302x_2^2 - 2.1551x_3^2$$

尿素与三料磷二因素交互作用对产量的影响，如表 6 及图 2。

表 6. 尿素与三料磷交互效应对大豆产量的影响

Table 6. Mutual effect of urea and triple superphosphate on Soybean yield

<div><div>x₃</div><div>x₂</div></div>		三 料 磷 (Phosphorous)					<div><div>\bar{x}</div></div>	<div><div>Sx</div></div>	<div><div>C.V%</div></div>
		- 2	- 1	0	1	2			
尿 素 (urea)	- 2	219.20	233.69	243.86	249.71	251.24	239.54	13.29	5.55
	- 1	236.03	252.73	265.10	273.15	276.89	260.78	16.65	6.38
	0	242.20	261.10	275.68	285.94	291.88	271.36	20.05	7.39
	1	237.71	258.81	275.60	288.07	295.21	271.28	23.48	8.66
	2	222.56	246.87	264.86	279.53	289.88	260.54	26.92	10.33
<div><div>\bar{x}</div></div>		231.54	250.44	265.02	275.28	281.22			
<div><div>Sx</div></div>		10.06	11.07	12.98	15.44	18.24			
<div><div>C.V%</div></div>		4.34	4.22	5.18	5.61	6.49			

单位：市斤/亩

从表 6 可以看到，当不施尿素 (- 2 水平) 时，三料磷亩施量由 0 增至 12 斤，大豆亩产由 219.2 斤增加到 251.2 斤，仅增加了 32 斤；但亩施尿素 8 斤 (+ 1 水平) 时，

三料磷亩施量由0增加到12斤，则大豆亩产由237.7斤增加到296.2斤，即增加了58.5斤，约多增产近一倍。从图2更可以清楚地看到：当尿素在-1水平以下时，增加三料磷施用量，大豆产量提高十分缓慢；但尿素在取0-1水平之间时，大豆产量就按箭头所指的方向较快地提高。

4. 最佳农艺措施的选择

使用APPLE-II微型机，借助“程序包”所建立的生产函数模型进行模拟试验，得出指定产量范围内各因素搭配方案，即可求出相应产量水平的各种综合农艺措施。表7是取步长为0.5，预测点数

为6561个组合方案，其中达到亩产260斤以上的有2385个，结果列于表7。

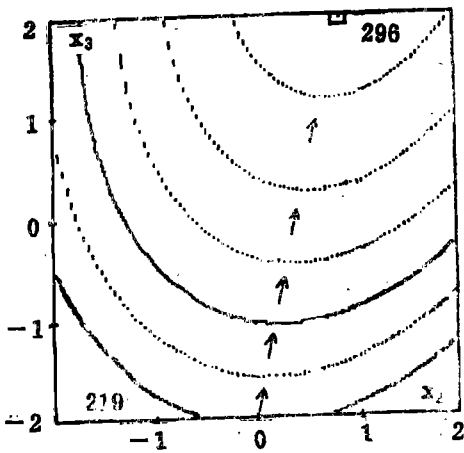


图2 尿素与三料磷交互效应
对产量的影响

Fig. 2. Interaction between N and P

表7 亩产260斤以上综合农艺措施频数

Table 7. Agricultural integrated measures for yield more than 260 jin per mu

因素 Factors 编 码 Code	x ₁ (密度) (Density)		x ₂ (尿素) (urea)		x ₃ (三料磷) (phosphorous)		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	23	1	0	0	0	0	173	7.3
-1.5	99	4.2	61	2.6	0	0	227	9.5
-1	216	9.1	211	8.8	67	2.8	264	10.6
-0.5	317	13.3	325	13.6	222	9.3	280	11.7
0	374	15.7	381	16.0	328	13.6	293	12.3
0.5	398	16.7	401	16.8	380	15.9	298	12.5
1	377	15.8	382	16.0	436	18.3	297	12.5
1.5	330	13.8	339	14.2	469	19.7	286	12.0
2	251	10.6	285	11.9	483	20.3	277	11.8
\bar{x} (编码值)(Code)	0.421		0.5015		0.8878		0.1461	
S \bar{x}	0.0206		0.0197		0.0178		0.0252	
95%的置信区间 fiducial interval	0.3806—0.4614		0.4628—0.5401		0.8534—0.9223		0.0968—9.1954	
农 艺 措 施 agricultural measures	43.8—44.6株/m ² plants/m ²		4.93—5.08斤/亩 jin/mu		8.56—8.77斤/亩 jin/mu		6.29—6.57斤/亩 jin/mu	

根据频数分析得知，亩产高于260斤的综合农艺措施是：密度 43.8—44.6株/m²；

尿素亩施用量 4.9—5.1 斤；三料磷亩施用量 8.6—8.8 斤。在表 7 中硫酸钾的频数分布非常离散，说明无明显效果，即在当地没有必要施用钾肥。这一结论与回归系数 t -检验及主成分分析结果一致。

参 考 文 献

- 〔1〕 张瑞忠等, 1984 超早熟大豆东农 36 综合农艺措施的产量函数模型, 大豆科学, 第 3 卷第 4 期
- 〔2〕 庄郁华、敬展生 1981 杂交早稻综合农艺措施数学模型的研讨 农业现代化参考资料选编, 第 8 集
- 〔3〕 涟源地区水稻规范化栽培技术研究协作组, 1983 涟源地区早稻规范化栽培试验示范总结 湖南农业科学 1983 年第 1 期

THE YIELD FUNCTION MODEL OF SOYBEAN CULTVAR "HEIHE 54" APPLIED WITH INTEGRATED AGRICULTURAL MEASURES

Song Guiqing

(Institute of Agricultural Science of Heihe City)

Abstract

The design method of quadratic orthogonal rotation regression has been applied in the present experiment to study the relationship between soybean yield and the primary factors of soybean cultivation: density, nitrogen fertilizer (carbamide), phosphorus (threefold calcium superphosphate), and potassium (potassium sulphate). The yield function model of the soybean cultivar "Heihe 54", which adapted in the fourth accumulate temperature zone of Heilongjiang province, applied with integrated agricultural measures has been set up in the present study. Analyzing the primary composition, the effect rank of these cultivation factors on yield has been determined as follow: density > carbamide > threefold calcium superphosphate > potassium sulphate. The boundary yield analysis conducted in this study may provide the economical benefic of various factors. Through the frequency analysis, the integrated agricultural measures for obtaining the yield of 260 jin/mu are: density: 43.5—44.6 plants/m², the dosage of carbamide: 4.9—5.1 jin/mu and threefold calcium superphosphate 8.6—8.8 jin/mu. Since the frequency distribution of potassium sulphate is disperse, it indicates that potassium fertilizer is ineffective in this region.