

超早熟大豆东农36号综合农艺 措施的产量函数模型*

张瑞忠 马占峰 杨庆凯

(东北农学院)

张庆文 张 铁

(黑河市金水农场)

黑龙江省是我国大豆重点产区,然而在其北部高寒山区($\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温低于 1900° 地区)原来一直不能种植大豆。近年来为了改变山区种植业结构,改善人民食物构成,开始试种一些早熟品种(如北呼豆等),但是由于这些品种经常遭到早霜冷害,产量不高不稳,因此当地迫切需要采用超早熟大豆品种,以克服当地积温不足对大豆生产的限制,减少低温冷害的危害。

1983年,大豆新品种东农36号,经省品种审查委员会通过,确定在我省第六积温带推广种植。为了尽快给当地提出成套的“投资少、产量高”的综合农艺措施,以达到“良种和良法”一齐推的目的,我们协作组对东农36号的品种栽培措施开展了综合研究。

本文是根据金水农场基点田间试验所测得的参数,通过微型电子计算机,使用“旋转设计试验数据的计算程序包”建立产量函数模型,并在微型机上演释各种因素对产量的作用,寻找这个品种的最佳农艺措施组合方案和最优化生产条件,作为当地大豆生产技术规范化的科学依据。1984年我们把模型试验的初步结果在大面积规范化示范田上运用和验证,将逐步为高寒山区提出一套科学的大豆规范化栽培方案。这不仅对高寒山区大豆技术开发有现实价值,而且由于把大豆生产区又向北推进,对大豆栽培学的发展也有一定的理论意义。

试 验 设 计

按照协作组的统一方案,采用二次回归正交旋转组合设计,选定大豆品种栽培的主要因素,以密度、氮肥、磷肥和钾肥为决策变量。自变量设计水平如表1。

同时,以试验设计的零水平作为基本措施,当年种植一亩丰产田(我们称之为反馈田),用以检验模型的实用性。

试验共有36个小区,每小区面积为 20m^2 ,分成三个正交区组,其余皆与传统田间

* 本文是根据黑河山区大豆技术开发协作组的资料写成,协作单位有东北农学院、地区科委、种子公司和农业技术推广站。计算过程中得到徐中儒付教授、郭铁城和葛家麒同志的协助,一并致谢。

试验设计相同。每个小区秋收实打 10m^2 测产, 并在室内进行产量构成因子分析。

表 1 自变量设计水平及编码

变 量	零 水 平	间 距	r=2, 变量设计水平及编码值				
			- 2	- 1	0	1	2
x_1 (密 度)	40株/ m^2	10	20	30	40	50	60
x_2 (尿 素)	4斤/亩	2	0	2	4	6	8
x_3 (三料磷)	6斤/亩	3	0	3	6	9	12
x_4 (硫酸钾)	6斤/亩	3	0	3	6	9	12

注: 肥料处理都是商品量

金水农场试验地处于典型第六积温带, 土壤基础肥力分析化验结果如表 2:

表 2 土壤基础肥力分析化验结果 (1983)

地 段	层 次 (cm)	有机质 (%)	全 氮 (N%)	碱 解 氮 (mg/100 克)	全 磷 ($\text{P}_2\text{O}_5\%$)	速 效 磷 (mg/100 克土)	速 效 钾 (mg/100 克土)	pH.
反 馈 田	0—10	7.0302	0.3836	38.50	0.260	1.16	45.0	6.25
	10—20	6.9788	0.3550	36.40	0.260	1.06	40.0	6.20
	20—30	4.4533	0.2632	26.25	0.217	痕迹	30.0	6.10
试 验 田	0—10	7.799	0.4032	53.55	0.2614	1.20	43.75	6.25
	10—20	7.1841	0.3724	35.55	0.2534	0.88	35.63	6.20
	20—30	5.5828	0.3108	32.20	0.2360	痕迹	39.38	6.15

试 验 结 果

一、产量结果 每个小区去掉边际实收 10m^2 脱粒, 折算为亩产量, 结果列于表 3

二、产量函数模型 将 1983 年田间试验所测得的参数, 使用“旋转设计试验数据的计算程序包”在微型电子计算机 APPLE-Ⅱ 上直接运算得回归模型如下:

$$\begin{aligned}
 Y = & 219.6417 - 10.0667x_1 + 32.475x_2 + 20.8917x_3 - 8.9083x_4 \\
 & + 14.55x_1x_2 - 8.75x_1x_3 - 3.6375x_1x_4 - 11.3125x_2x_3 \\
 & + 1.75x_2x_4 - 7.775x_3x_4 - 9.1104x_1^2 - 2.7604x_2^2 \\
 & - 1.6354x_3^2 + 2.5271x_4^2
 \end{aligned} \quad (1)$$

为了确定回归方程是否有实际意义, 必须对模型进行统计量的检验, 检验结果为:

$$\begin{aligned}
 D_{\text{误}} &= 5019.3898 & f_{\text{误}} &= 11 \\
 D_{\text{总}} &= 63826.0811 & f_{\text{总}} &= 35 \\
 D_{\text{回}} &= 51200.2906 & f_{\text{回}} &= 14 \\
 D_{\text{剩}} &= 12625.7904 & f_{\text{剩}} &= 21 \\
 D_{\text{拟}} &= 7606.4006 & f_{\text{拟}} &= 10
 \end{aligned}$$

$$F_1=1.6669$$

$$\therefore F_1=1.667 < F_{0.05}(10, 11)=2.85$$

$$F_2=6.0828$$

$$\therefore F_2=6.083 > F_{0.01}(14, 21)=3.07$$

表 3 试验结构矩阵及产量结果

小区号	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	y	小区号	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	y
1	1	1	1	1	210.6	19	0	2	0	0	257.6
2	1	1	1	-1	261.3	20	0	-2	0	0	134.5
3	1	1	-1	1	261.3	21	0	0	2	0	266.7
4	1	1	-1	-1	266.6	22	0	0	-2	0	134.4
5	1	-1	1	1	143.4	23	0	0	0	2	208.2
6	1	-1	1	-1	207.2	24	0	0	0	-2	226.2
7	1	-1	-1	1	124.0	25	0	0	0	0	218.6
8	1	-1	-1	-1	132.2	26	0	0	0	0	226.6
9	-1	1	1	1	247.1	27	0	0	0	0	232.0
10	-1	1	1	-1	288.0	28	0	0	0	0	218.1
11	-1	1	-1	1	238.6	29	0	0	0	0	232.2
12	-1	1	-1	-1	224.6	30	0	0	0	0	218.1
13	-1	-1	1	1	242.3	31	0	0	0	0	201.6
14	-1	-1	1	-1	238.0	32	0	0	0	0	196.2
15	-1	-1	-1	1	165.3	33	0	0	0	0	208.8
16	-1	-1	-1	-1	200.5	34	0	0	0	0	231.7
17	2	0	0	0	171.7	35	0	0	0	0	186.9
18	-2	0	0	0	169.6	36	0	0	0	0	268.9

通过 F 检验表明, 产量函数的二次回归模型 (1) 是有效的, 与实际情况拟合的较好。 $\delta=24.51$ 。可以进一步对回归系数进行 t -检验。 t -检验结果为:

$$t_1=2.0113^*$$

$$t_2=6.4884^{**}$$

$$t_3=4.1741^*$$

$$t_4=1.7798^*$$

$$t_{1,2}=2.3736^*$$

$$t_{,3}=1.4274$$

$$t_{1,4}=0.5934$$

$$t_{2,3}=1.8454^*$$

$$t_{2,4}=0.2855$$

$$t_{3,4}=1.2684$$

$$t_{11}=2.1018$$

$$t_{22}=0.6368$$

$$t_{33}=0.3773$$

$$t_{44}=0.583$$

对回归系数检验可知: $b_1, b_2, b_3, b_4, b_{1,2}, b_{2,3}$, 在不同程度上显著或有作用。由于方程显著, 拟合较好, 在后面分析中, 对变量不进行剔除, 而直接用方程 (1) 进行模型优化分析。

模型优化和解析

一、模型的最优解

我们求目标函数为最优解, 即

$$y=f(x)=f(x_1, x_2, \dots, x_m)=b_0+\sum_{i=1}^m b_i x_i+\sum_{i,j=1}^m b_{ij} x_i x_j+\sum_{i=1}^m b_{ii} x_i^2 \quad (2)$$

已知: $m=4$ 求方程 (1)

目标函数为非线性函数, 约束条件为: $-r < x_i < r \quad j=1, 2, \dots, 4$ 内的非线性规划问题。因系数矩阵 A 不定, 无极值。使用“程序包”在微型机上寻求出非线性规划的最优解: 每亩产量最大值为 314.78 斤。由此可见这一品种在当地的产量潜力还很大。在最优组合方案中每个栽培因素的极值点为: $x_1=1.05$ (即密度每亩为 2.7 万株); $x_2=1.99$ (即尿素每亩为 7.98 斤); $x_3=1.99$ (即三料磷每亩为 11.97 斤) $x_4=-2.0$ (即硫酸钾每亩为 0 斤)。

为了判断每个试验因素在形成产量上的贡献大小, 又接着用微型机进行了主因素分析。得正交变换标准方程 (3):

$$y = 219.64 - 23.31y_1 - 1.39y_2 + 30.06y_3 - 14.93y_4 - 14.24y_1^2 + 8.45y_2^2 - 8.01y_3^2 + 2.81y_4^2 \quad (3)$$

故该品种栽培因素对产量的贡献排序为: x_1 密度 $> x_2$ (氮) $> x_3$ (磷) $> x_4$ (钾)。即在高纬高寒地区, 栽培早熟大豆首要的要正确决定密度, 其次要施用氮肥和磷肥。

二、各种因素的效应

对模型 (1) 采用“降维法”, 即固定其他三个自变量的取值水平, 可导出另一个变量的偏回归子模型, 以分析单因素的作用。这恰似相当于在特定条件下所做的一组单因子试验。例如, 将其他三个自变量固定在零水平, 分别得到具体的子模型如下:

$$\begin{aligned} \hat{y}_1 &= 219.6417 - 10.0667x_1 - 9.110x_1^2 \\ \hat{y}_2 &= 219.6417 - 32.475x_2 - 2.7604x_2^2 \\ \hat{y}_3 &= 219.6417 + 20.8917x_3 - 1.6354x_3^2 \\ \hat{y}_4 &= 219.6417 - 8.9083x_4 + 2.5271x_4^2 \end{aligned} \quad (4)$$

若令

$$\frac{dy}{dx_i} = 0$$

则

$$b_i + 2b_ix_i = 0$$

可求出每个单因素编码值的极值点, 分别为:

$$\begin{aligned} x_1 &= -0.55 && (\text{相当于每亩保苗数 } 2.3 \text{ 万株}) \\ x_2 &= 5.88 && (\text{相当于每亩施尿素 } 15.76 \text{ 斤}) \\ x_3 &= 6.38 && (\text{相当于每亩施三料磷肥 } 25.14 \text{ 斤}) \\ x_4 &= -1.78 && (\text{相当于每亩施硫酸钾 } 0.66 \text{ 斤}) \end{aligned}$$

使用“程序包”直接图示每个单因素的产量效应 (图 1.2、3、4), 可以直观看出在特定条件下的变化趋势, 往往与多因素配合时的综合效应是不一致的。因此生产上必须采用综合农艺措施。这也说明以往所做的单因素试验结果在生产上应用的局限性, 多数试验结果只反应了定性的作用。

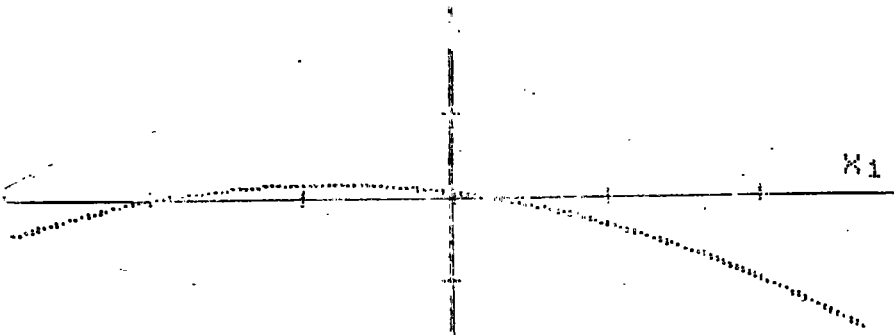


图 1 密度对产量的效应

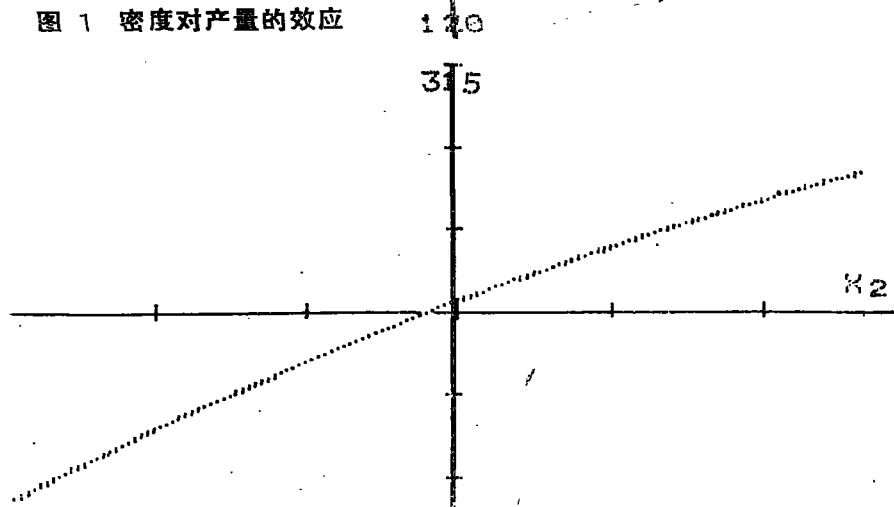


图 2 氮肥对产量的效应

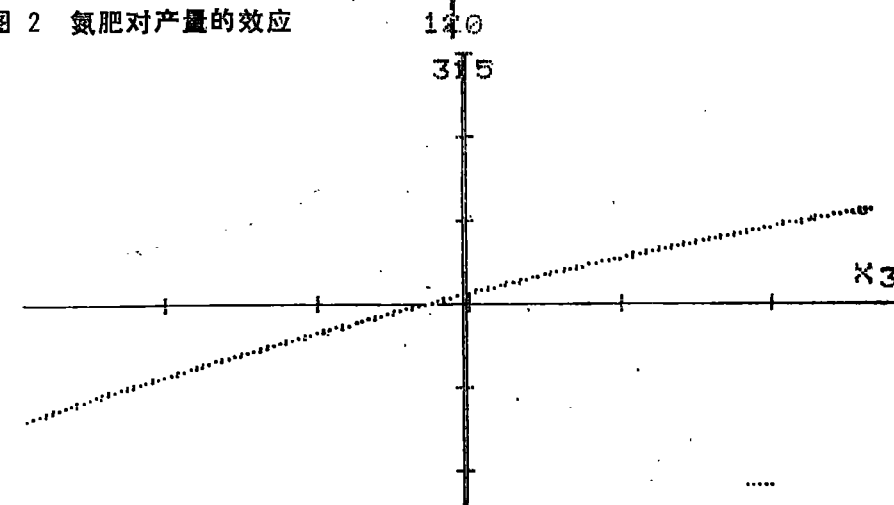


图 3 磷肥对产量的效应

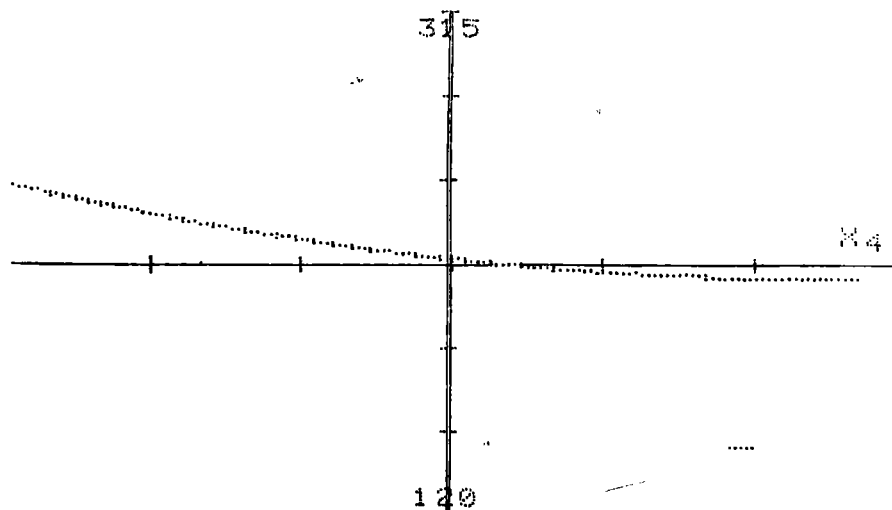


图 4 钾肥对产量的效应

三、单项栽培措施的经济效益

产量函数最适合做经济判断,当使各个子模型(4)的偏导数等于所加因素的成本时,可以评审经济上最佳施用量。将各子模型的一阶导数整理如下:

$$\frac{dy}{dx_1} = -10.0667 - 18.2208x_1$$

$$\frac{dy}{dx_2} = 32.475 - 5208x_2$$

$$\frac{dy}{dx_3} = 20.8917 - 3.2078x_3$$

$$\frac{dy}{dx_4} = -8.9083 + 5.0542x_4 \quad (5)$$

将不同编码值代入(5)式,分别求出各不同水平下每个栽培因素的边际产量如表 5。

表 5 东农 36 号大豆的边际产量

因素	编码	-2	-1	0	1	2
密度		26.3	8.1	-10.1	-28.3	-46.5
尿素		43.7	38.1	32.5	26.9	21.3
三料磷		27.3	24.9	20.9	17.7	14.5
硫酸钾		-18.9	-13.9	-8.9	-3.9	1.1

表 5 对边际产量的分析,可以作出经济效益的判断。东农 36 号大豆在第六积温带,氮肥(尿素)增产效果特别显著。当每亩施用尿素 12 斤以上时,虽然还有增产效果,但其增产量已抵不上投入的成本。三料磷每亩施用量超过 20 斤,每斤肥料只能增产大

豆 0.54 斤。

四、两个因素的交互效应

试验所建模型变量间比较显著的交互项是 $x_1 x_2$ 和 $x_2 x_3$ 。用降维法可分别得到具体子模型, 同时将不同水平的产量效应列于表 6 和表 7。

1. 密度和氮肥间的交互效应

$$\hat{y}_{1,2} = 219.6417 - 10.0667x_1 + 32.475x_2 + 14.55x_1x_2 - 9.110x_1^2 - 2.7604x_2^2 \quad (6)$$

表 6 密度和氮肥间的交互效应对大豆产量的影响

x ₁	x ₂	氮 肥					x	S _x	CV(%)
		-2	-1	0	1	2			
密 度	-2	185.54	197.19	203.33	203.94	199.04	197.81	7.42	3.75
	-1	173.70	199.91	220.59	235.76	245.41	215.07	28.81	13.40
	0	143.65	184.41	219.60	249.35	273.65	214.13	51.63	24.11
	1	95.37	150.87	200.40	244.73	283.47	194.94	74.53	38.23
	2	23.37	95.73	169.06	221.83	275.17	157.54	97.49	51.88
x		125.43	168.18	201.44	231.13	255.35			
S _x		61.23	42.49	23.31	18.48	34.59			
(CV%)		51.21	25.57	11.57	7.99	13.55			

从表 6 可以看出, 密度与氮肥之间有显著的交互作用, 我省高寒地区大豆密植必须配合施用足够的氮肥才有显著的增产作用。如果密度不够, 尽管施用大量氮肥, 增产幅度也不大。同样地如果氮肥不足, 只管盲目加大播种密度也是不能增产的。这种交互效应与我省南部地区“肥地宜稀”规律截然不同。这是由于当地春季温度低, 幼苗初期生长氮肥不足就不能形成足够的绿色体, 因而就降低对光能的截获和利用。

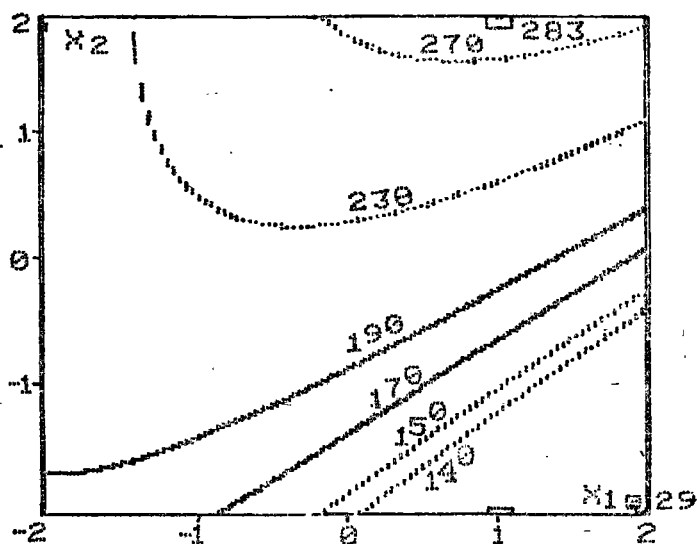


图 5 密度与氮肥的交互作用

用“程序包”图释密度与氮肥的交互作用, 也清晰看出氮肥与密度的关系(图 5)。

2. 氮肥和磷肥间的交互效应

$$\hat{y}_{2,3} = 219.6417 + 39.475x_2 + 20.8917x_3 - 11.3125x_2x_3 - 2.7604x_2^2 - 1.6354x_3^2 \quad (7)$$

表 7 氮肥与磷肥交互效应对大豆产量的影响

x ₂ \ x ₃		磷 肥					\bar{x}	S _x	CV (%)
		-2	-1	0	1	2			
氮	-2	50.07	98.49	143.65	185.53	224.14	140.38	68.87	49.06
	-1	113.45	150.56	184.40	214.97	242.27	181.13	51.01	28.16
	0	171.32	197.11	216.64	238.89	254.88	215.77	33.12	15.35
肥	1	223.65	238.14	249.38	257.30	261.97	245.08	15.45	6.28
	2	270.47	273.64	273.65	270.18	263.54	270.28	4.10	1.52
\bar{x}		165.79	191.59	213.62	233.37	249.36			
S _x		87.27	69.42	51.54	33.85	16.41			
CV (%)		52.63	36.23	24.14	14.50	6.58			

从表 7 中看出,在低氮水平时氮磷交互作用非常明显,就是少量施用氮肥时必须配合施用磷肥,以磷促氮。当大量施用氮肥时,磷的交互效应较低,主要是该品种不很耐肥,大量施用氮肥时发生严重倒伏和徒长,而不能充分发挥肥效。从图 6 也清楚看出,氮磷配合施用可使大豆产量显著增加,适当施用氮肥是增产的关键。在适当施用氮肥的基础上,才能充分发挥磷肥的增产作用。

五、不同产量水平的最佳综合农艺措施

用 (2) 式求得的最大值是数学的最优解,并不一定是生产意义上的最优解,因为

还要考虑投入的经济效益及其随机干扰,而使其频率较低。

我们使用微型机及其“程序包”,给定产量分类上、下界后,令步长为 1,则共有 625 个组合方案,可进行频数分析。例如,我们令产量分类上界为 250 斤,分类下界为 200 斤,通过频数分析,可求出相应产量水平的农艺措施。这实际上是予控。现将微型机计算结果列入表 8 中。

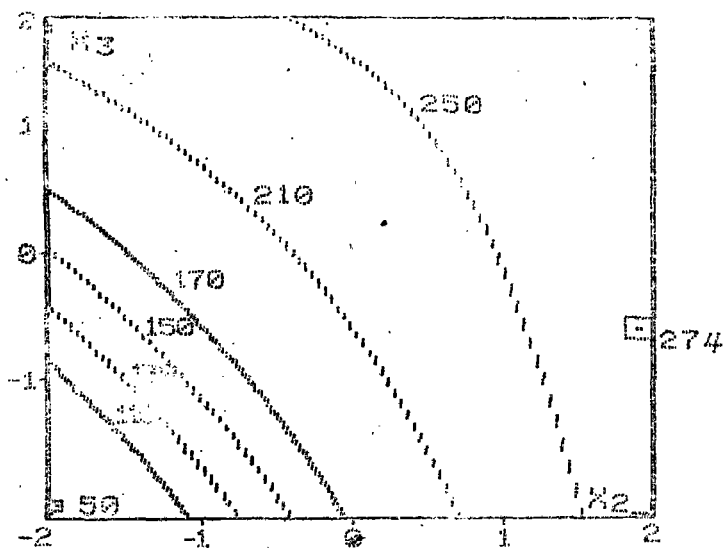


图 6 氮肥与磷肥的交互作用

根据 >250 斤 157 个方案统计的编码平均值,确定信度为 0.05 的置信区间,东农 36 号大豆品种,在金水农场或与其相似的地区,予测亩产 250 斤所应采用的农艺措施为:每亩保苗数 2.5—2.7 万株,每亩施用尿素 5—6 斤,每亩施用三料磷酸钙 7—9 斤,

表 8 东农 36 号大豆亩产 250 斤以上的农艺综合措施

	x ₁ (密度)		x ₂ (尿素)		x ₃ (三料磷)		x ₄ (硫酸钾)	
	次 数	频率(%)	次 数	频率(%)	次 数	频率(%)	次 数	频率(%)
-2	25	15.9	13	8.3	18	11.5	55	35.0
-1	33	21.0	17	10.8	18	11.5	41	26.1
0	42	26.8	19	12.1	23	14.6	28	17.8
1	33	21.0	32	20.4	40	25.5	16	10.2
2	24	15.3	76	48.4	58	36.9	17	10.8
编 码 x	-0.0127		0.8981		0.6497		-0.6433	
S_x	0.1031		0.1063		0.1095		0.1066	
95%的置信区间	-0.215—0.189		0.69—1.106		0.435—0.864		-0.852—-0.434	
农 艺 措 施	25247—27942株/亩		5.38—6.21 (斤/亩)		7.31—8.59 (斤/亩)		3.44—4.69 (斤/亩)	

亦可少量施用硫酸钾 3—4 斤。钾肥亦可促进幼苗快速生长而节约氮肥。钾与氮及磷的交互作用尚需进一步研究。

结 论

1. 1983 年, 在第六积温带东农 36 号大豆平均产量效应为每亩 219.64 斤, 反馈田为 224 斤。从模型优化方案看, 最大值为 314.78 斤。因此, 这个品种在当地还有很大产量潜力。

2. 在我省北部高寒地区, 大豆品种栽培因素对产量的贡献排序为: 密度 > 氮肥 > 磷肥。在金水农场给大豆施用钾肥没有明显的增产效果。

3. 予测亩产 250 斤以上时, 除应认真贯彻省农机田间作业技术标准外, 该品种栽培决策因素所应采用的数量: 每亩保苗株数为 2.7 万株, 每亩化肥最佳投放量, 尿素 5—6 斤, 三料磷 7—8 斤, 硫酸钾 3—4 斤。

4. 当地氮肥与密度的交互效应十分显著, 而且与我省南部地区的表现截然不同。

5. 根据本试验所建造的模型进行边际效应分析表明, 每亩尿素施用量超过 12 斤, 三料磷肥超过 20 斤。尽管还可使大豆产量增加, 但已没有经济效益。

参 考 文 献

- [1] 苑诗松等: 1981, 回归分析及其试验设计 华东师大出版社
- [2] 杨汝康, 徐中儒: 1983, 生物数学(应用部分) 东北农学院
- [3] 杨庆凯: 1984, 计算器、计算机在生物统计中的应用 东北农学院
- [4] 庄郁华等: 1982, 新品种高产栽培综合农艺措施数学模型的研讨 湖南作物学会
- [5] Ю. П. Мякушко 等: 苏联欧洲部分工业化栽培大豆的技术 国外农学一大豆 1983 年 6 期
- [6] Coldwell B. E.: 1973, Soybeans: Improvement, Production and Uses, Madison, USA.

A STUDY ON THE YIELD FUNCTION MODEL OF AN EXTRA-EARLY SOYBEAN CULTIVAR DONNONG 36 APPLIED COMPREHENSIVE CULTURAL PRACTICES

Zhang Ruizhong Ma Zanfeng Yang Qingkai

(Northeast Agricultural College)

Zhang Qingwen Zhang Tie

(Jinshui Farm)

Abstract

Soybean can't mature in the northern alpine regions of Heilongjiang Province in former time. Donnong 36, an extra-early cultivar released by the Northeast Agricultural College, makes it possible to grow soybean in those regions.

1. In 1983, in Jinshui Farm, the average yield of Donnong 36 is 1638 kg/ha.

The yield equation is: $\hat{y} = 219.6417 - 10.07x_1 + 32.475x_2 + 20.89x_3 - 8.91x_4 + 14.55x_1x_2 - 8.75x_1x_3 - 3.64x_1x_4 - 11.31x_2x_3 + 1.75x_2x_4 - 7.775x_3x_4 - 9.11x_1^2 - 2.76x_2^2 - 1.64x_3^2 + 2.527x_4^2$

there \hat{y} : expected yield (Chiense unit: jin/mu, jin=0.5kg, mu=1/15ha.)

x_1 : plant density

x_2 : urea

x_3 : phosphorous fertilizer

x_4 : potassium fertilizer

According to optimization analysis from the parametric equation the expected yield can reach 2361 kg/ha. It indicates that the yield potential of Donnong 36 has not yet been exhausted.

2. The order of contribution of cultural practices for soybean yield were as follows,

plant density > nitrogen fertilizer > phosphorous fertilizer.

3. A yield of 1805 kg/ha or more would be reached with high yield

practices.

4. There is significant correlation between nitrogen fertilizer and plant density. Nitrogen fertilizer must be increase when plant density is raised. It differ from that in the southern part of Heilongjiang Province.

5. Soybean yield would be increased when the rate of urea applied is more than 90 kg/ha and phosphorous fertilizer more than 150 kg/ha. However, it isn't beneficial economically.