

陕北黄土高原春大豆综合 农艺措施数学模型研究^{*}

林关石 郭培才

(陕西省黄土高原治理研究所)

任玉旺

(榆林高等专科学校农学系)

提 要

本文采用四因子(1/2 实施)二次回归通用旋转组合设计,对影响陕北黄土高原春大豆产量最主要的密度、施氮、施磷、施有机肥等四项农艺措施进行田间试验,通过电脑统计分析,明确了各项农艺措施的主次关系,建立起综合农艺措施优化数学模型,筛选出大豆亩产 100—145.5kg 的最佳农艺措施组合方案,为黄土高原春大豆区克服广种薄收,实施高产优质规范化栽培提供了科学依据。

关键词 春大豆;农艺措施;数学模型

近年陕北黄土高原大豆种植面积 135 万多亩,占粮田面积 9.4%,总产 6988 多万 kg,占有粮食总产 6.5%,平均亩产 52kg,比当地粮食平均亩产低 31%。人均占有大豆 17.3kg。为了克服大豆广种薄收现象,我们从 1988 年开始至 1991 年进行了四年高产栽培试验,其中亩产变幅为 45—171kg,平均亩产 100kg。前三年按正交试验设计,1991 年用四因素二次回归通用旋转组合设计,用微机进行统计分析,用系统工程原理和方法,建立黄土高原春大豆综合农艺措施数学模型,优选最佳农艺措施组合方案,为提高大豆产量提供科学依据。

一、试验设计及方法

试验地设在榆林地区米脂县桥河岔乡远志山村的旱梯田上,土壤为黄绵土,前茬谷子,地力均匀,播前土壤 0—20cm 土层基础养分含量:pH8.1,有机质 0.245%,全氮

^{*} 本文于 1992 年 3 月 30 日收到。
This paper was received on March 30, 1993.

0.025%,全磷0.123%,全钾1.356%,碱解氮31.04ppm,速效磷7.58ppm,速效钾109.74ppm。供试品种为黄豆8415。选择当地对产量影响最大的农艺措施:密度(x_1)、氮肥(x_2)、磷肥(x_3)、有机肥(x_4)等四因素进行二次回归通用旋转组合设计,各因素经无量纲线性代换后的设计水平列入表1。试验按4因素5水平1/2实施,其中 $mc=8, mr=8, mo=4, r=1.682$,共计20个处理,小区面积为2厘。1991年5月1日播种,锄地4次,10月10日收获,单收单打,风干称重。大豆生育期降雨390.3mm,前期偏多,后期旱象严重,生育期积温3349℃。

表1 试验因素及水平编码
Table 1 Experiment factors and level of code

| 因 素 | 变化间距 | 变 量 设 计 水 平 | | | | |
|------------|------|-------------|------|------|------|-------|
| | | -1.682 | -1 | 0 | 1 | 1.682 |
| 密度(株/亩) | 1500 | 4000 | 5000 | 6500 | 8000 | 9000 |
| 施N(kg/亩) | 3 | 0 | 2 | 5 | 8 | 10 |
| 施P(kg/亩) | 3 | 0 | 2 | 5 | 8 | 10 |
| 施有机肥(kg/亩) | 300 | 0 | 200 | 500 | 800 | 1000 |

二、试验结果分析

(一)产量结果及回归模型的建立与检验

表2 试验结构矩阵及产量结果
Table 2 Experiment structure matrix and yield result

| 试 验 号 | x_1 | x_2 | x_3 | x_4 | 产 量 (kg/亩) |
|-------|--------|--------|--------|--------|------------|
| 1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 57.0 |
| 2 | -1 | -1 | 1 | 1 | 67.0 |
| 3 | -1 | 1 | -1 | 1 | 68.0 |
| 4 | -1 | 1 | 1 | -1 | 89.0 |
| 5 | 1 | -1 | -1 | 1 | 64.0 |
| 6 | 1 | -1 | 1 | -1 | 71.0 |
| 7 | 1 | 1 | -1 | -1 | 75.0 |
| 8 | 1 | 1 | 1 | 1 | 85.0 |
| 9 | -1.682 | 0 | 0 | 0 | 55.0 |
| 10 | 1.682 | 0 | 0 | 0 | 45.0 |
| 11 | 0 | -1.682 | 0 | 0 | 65.0 |
| 12 | 0 | 1.682 | 0 | 0 | 88.0 |
| 13 | 0 | 0 | -1.682 | 0 | 69.0 |
| 14 | 0 | 0 | 1.682 | 0 | 89.0 |
| 15 | 0 | 0 | 0 | -1.682 | 66.0 |
| 16 | 0 | 0 | 0 | 1.682 | 75.0 |
| 17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 71.0 |
| 18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 78.0 |
| 19 | 0 | 0 | 0 | 0 | 68.0 |
| 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 69.0 |

试验结构矩阵及产量结果列于表2,将表2结果使用“二次回归旋转组合设计程序”

在苹果Ⅱe型电子计算机上直接运算,求得大豆产量与各因素之间的回归模型为:

$$y=70.7-0.206x_1+7.079x_2+5.977x_3+0.523x_4-1.000x_1x_2-1.75x_1x_3+1.75x_1x_4+1.75x_2x_3-1.75x_2x_4-1.000x_3x_4-7.28x_1^2+2.934x_2^2+3.898x_3^2+0.622x_4^2\cdots\cdots(1)$$

对模型(1)统计量的检验如下:

1. 失拟性检验: $F_1=0.183 < F_{0.05}(2,3)=9.55$, 失拟不显著,说明方程式拟合得很好,没有一些不可控制的因素在干扰试验。

2. 回归方程显著性检验

$$F_2=12.651 > F_{0.05}(14,5)=4.64 > F_{0.01}=9.77$$

以上检验表明,二次回归模型达到极显著水平,说明此方程有效。可应用方程(1)进行优化分析。

3. 偏回归系数显著性检验:偏回归系数显著性检验结果列于表3。从表3看出,施氮量(x_2)、施磷量(x_3)的一次项偏回归系数密度(x_1^2)、施磷量(x_3^2)、施氮量(x_2^2)的二次项偏回归系数达到极显著和显著水平,说明氮、磷、密度对产量的影响有重要作用。交互项 x_1x_3 、 x_1x_4 、 x_2x_3 、 x_2x_4 其F值达0.25差异水准,说明密度与磷肥、密度与有机肥、氮与磷、氮与有机肥等的适宜搭配,特别是氮磷配合是大豆高产的关键环节。

表3 偏回归系数差异显著性检验

Table 3 Singnificant test of difference of error regrassion coefficient

| 变 异 原 因 | 偏 回 归 系 数 | F 值 | 差 异 显 著 性 | 差 异 水 平 |
|-------------|-----------|--------|-----------|---------|
| 一 次 项 | x_1 | -0.206 | 0.043 | ns |
| | x_2 | 7.079 | 50.032 | 0.01 |
| | x_3 | 5.977 | 35.67 | 0.01 |
| | x_4 | 5.226 | 0.273 | ns |
| 交 互 项 | x_1x_2 | -1.000 | 0.580 | ns |
| | x_1x_3 | -1.750 | 1.791 | 0.25 |
| | x_1x_4 | 1.750 | 1.791 | 0.25 |
| | x_2x_3 | 1.750 | 1.791 | 0.25 |
| | x_2x_4 | -1.750 | 1.791 | 0.25 |
| | x_3x_4 | -1.000 | 0.580 | ns |
| 二 次 项 | x_1^2 | -7.280 | 56.865 | 0.01 |
| | x_2^2 | 2.934 | 9.240 | 0.05 |
| | x_3^2 | 3.898 | 16.304 | 0.01 |
| | x_4^2 | 0.622 | 0.415 | ns |

(二)模型解析和寻优

1. 主因素效应

经过无量纲线性编码代换后偏回归系数(bi)已经标准化,其|bi|大小可直接反映变量xi对产量影响的程度。试验中各因素对产量影响的大小顺序是:一次项(一次效应) $x_2 > x_3 > x_4 > x_1$ 。二次项(二次效应) $x_1 > x_3 > x_2 > x_4$ 。

2. 单因素效应

对模型(1)采用降维法可以分析单因素对产量的效应。令其它3个自变量为零,可分析得到具体子模型如下:

$$\text{密度: } y_1 = 70.7 - 0.206x_1 - 7.280x_1^2 \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{氮肥: } y_2 = 70.7 + 7.079x_2 + 2.934x_2^2 \dots\dots\dots (3)$$

$$\text{磷肥: } y_3 = 70.7 + 5.977x_3 + 3.898x_3^2 \dots\dots\dots (4)$$

$$\text{有机肥: } y_4 = 70.7 + 0.523x_4 + 0.622x_4^2 \dots\dots\dots (5)$$

若令偏导数 $\partial y_i / \partial x_i = 0 (i=1, 2, 3, 4)$

$x_1 = -0.01$ (相当于密度 6487 株/亩)

$x_2 = -1.21$ (相当于每亩施 N 素 1.85kg)

$x_3 = -0.77$ (相当于每亩施 P 素 3.00kg)

$x_4 = -0.42$ (相当于每亩施有机肥 391kg)

根据四个子模型,使 x_i 分别取 -1.682、-1.0、1.682 时,得出各因素对产量的影响值绘于图 1。

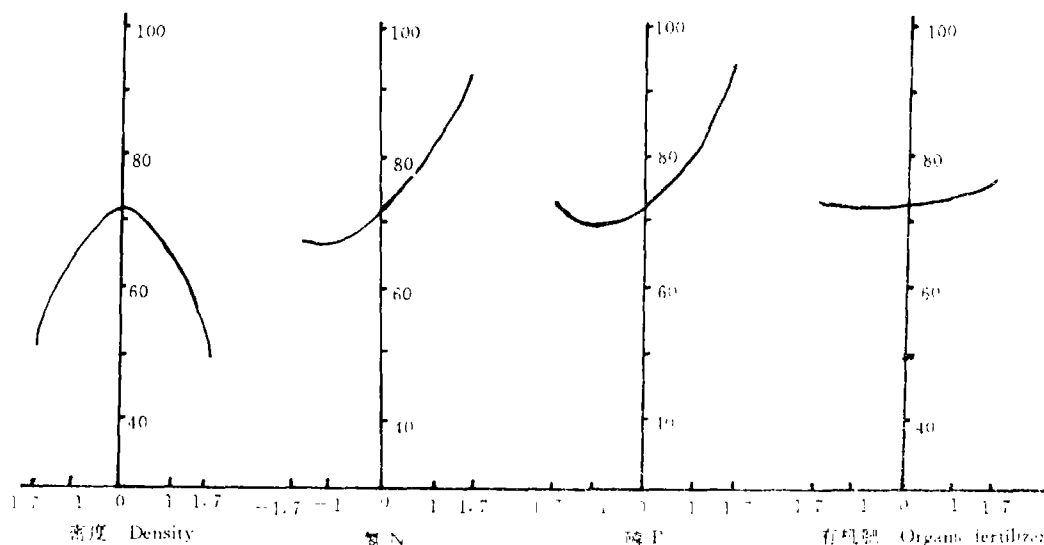


图 1 不同因素不同水平对产量的影响

Fig. 1 Effect of yield on different factor and level

从图 1 看出,各因素不同水平对产量的效应:(1)密度每亩以 6500 株左右产量最高,亩产 70.7kg,密度向高与低方向延伸,产量成曲线下降,每亩 4000 株,亩产为 50.45kg,每亩 9000 株,亩产 49.75kg;(2)施氮肥与磷肥都有显著的增产作用,不施氮亩产 67.09kg,亩施氮 5kg 时,亩产为 70.7kg,亩施氮 8kg 亩产 80.71kg,亩施氮 10kg 亩产 90.91kg。不施磷亩产 71.67kg,亩施磷 5kg 亩产 70.7kg,亩施磷 8kg 亩产 80.58kg,亩施磷 10kg 亩产为 91.78kg;(3)在化肥基本满足的条件下,施用有机肥增产作用不显著,不施有机肥亩产 71.58kg,亩施 200kg、500kg、800kg、1000kg 增产效果都不显著。

3. 单因素边际产量效应

各因素不同水平下的大豆产量效应边际产量方程:

$$\partial y / \partial x_1 = -0.206 - 14.56x_1$$

$$\partial y / \partial x_2 = 7.079 + 5.868x_2$$

$$\partial y / \partial x_3 = 5.977 + 7.796x_3$$

$$\partial y / \partial x_4 = 0.523 + 1.244x_4$$

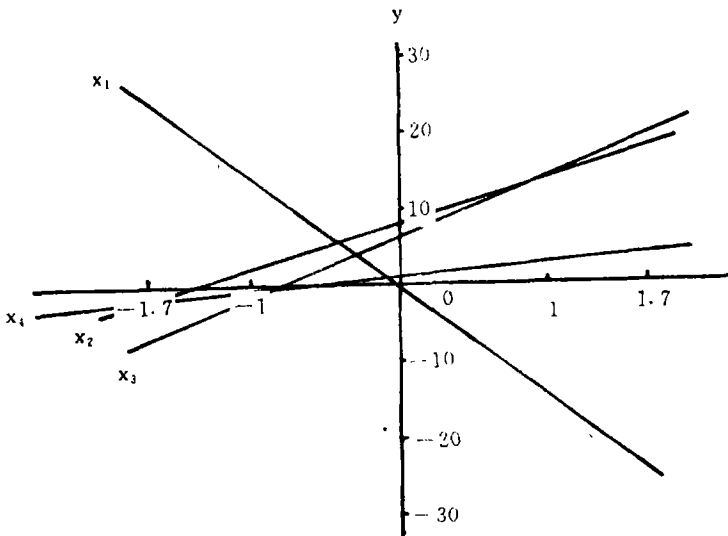


图 2 各因素边际产量效应方程图

Fig. 2 The effect square of marginal yield every factor

从图 2 看出:(1)密度的变化对边际产量的影响较大,密度越大,边际产量越低;(2)磷肥、氮肥用量增加,其边际产量增加较大;(3)增施有机肥对边际产量的影响不大。从图 2 可以直观地看出,各因素在不同水平时对产量的影响程度是不同的,这为我们在不同的条件下选择增产因素和决定数量大小提供参数。

4. 因素间的交互作用效应

本试验所建立的模型中, x_2x_3 、 x_1x_4 、 x_1x_3 、 x_2x_4 有较明显的交互作用,根据 1988—1990 三年试验,氮肥与磷肥的交互作用最大,所以本文只作氮磷互作分析,为节省篇幅对其余三项从略。

先将除氮磷以外的其余因素固定在零水平,得出下列方程:

$$y_{2,3} = 70.7 + 7.079x_2 + 5.997x_3 + 1.75x_2x_3 + 2.934x_2^2 + 3.898x_3^2 \dots \dots (6)$$

根据方程(6)计算出氮、磷对大豆产量的交互作用如表 4,从表 4 看出:每亩各施氮磷 8—10kg, NP 比为 1:1、1:0.8、0.8:1,其交互作用最大,亩产为 103.73~116.94kg;氮磷施用量在 5kg/亩以下没有交互作用,其交互项产量都低于不施 NP 项产量。

5. 大豆优化栽培综合农艺措施

根据已建立的数学模型,进行电脑模拟,寻出在不同目标产量下的最优组合方案,通

表4 施氮与磷对大豆产量的交互作用

单位:kg/亩

Table 4 The N and P interaction effect of a pplying fertilizer for soybean yield

| x ₂ | x ₃ | 施 氮 量 | | | | | 统 计 参 数 | | |
|----------------|----------------|---------|-------|-------|--------|--------|-----------|-------|-------|
| | | -0.1682 | -1 | 0 | 1 | 1.682 | \bar{X} | S | CV(%) |
| 施 磷 量 | -1.682 | 73.02 | 70.48 | 71.67 | 78.74 | 86.93 | 76.17 | 6.80 | 8.93 |
| | -1.0 | 67.96 | 66.23 | 68.62 | 76.88 | 85.89 | 73.12 | 8.24 | 11.27 |
| | 0 | 67.09 | 66.56 | 70.7 | 80.71 | 90.91 | 75.19 | 10.46 | 13.91 |
| | 1.0 | 74.03 | 74.68 | 80.58 | 92.34 | 103.73 | 85.07 | 12.76 | 15.00 |
| | 1.682 | 83.22 | 84.69 | 91.78 | 104.74 | 116.94 | 96.27 | 14.35 | 14.91 |
| 统计 参数 | \bar{X} | 73.06 | 72.53 | 75.89 | 86.68 | 96.88 | | | |
| | S | 6.44 | 7.62 | 9.36 | 11.76 | 13.27 | | | |
| | CV(%) | 8.81 | 10.51 | 12.33 | 13.57 | 13.70 | | | |

过模拟得到 625 个组合方案,产量小于 70kg/亩的有 312 个组合方案,70—99.9kg/亩有 263 个组合方案,亩产 100~145.5kg 的有 50 个组合方案,并将其变量数值及频率列于表 5。从表 5 看出,大豆亩产 100—145.5kg 的最优方案是:种植密度每亩 5709~6302 株,亩施氮量 8.549~9.355kg,亩施磷量 8.871~9.657kg,亩施有机肥 283~467kg。

表5 大豆亩产 100~145.5kg 的变量数值及频率

Table 5 Variable value and integrated rate of 100~145.5kg/mu on soybean yield

| 因 素 编 码 | x ₁ | | x ₂ | | x ₃ | | x ₄ | |
|------------------|----------------|-----|----------------|-----|----------------|-----|----------------|-----|
| | 次 数 | % | 次 数 | % | 次 数 | % | 次 数 | % |
| -1.682 | 6 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 16 | 32 |
| -1 | 16 | 32 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12 | 24 |
| 0 | 19 | 38 | 3 | 6 | 3 | 6 | 8 | 16 |
| 1 | 9 | 18 | 13 | 26 | 11 | 22 | 8 | 16 |
| 1.682 | 0 | 0 | 34 | 68 | 36 | 72 | 6 | 12 |
| 次数合计 | 50 | 100 | 50 | 100 | 50 | 100 | 50 | 100 |
| 平均值(\bar{x}) | -0.38 | | 1.52 | | 1.64 | | -0.48 | |
| 标准差(S) | 0.914 | | 0.608 | | 0.592 | | 1.389 | |
| 95%置信 区 间 | -0.608~ | | 1.365~ | | 1.489~ | | -0.834~ | |
| 农 艺 措 施 | 5709~6302 | | 8.549~9.355 | | 8.871~9.657 | | 283~467 | |
| | (株/亩) | | (kg/亩) | | (kg/亩) | | (kg/亩) | |

三、结论

1. 陕北黄土高原旱梯田,大豆产量与雨量及其分布有密切关系,在偏旱年份肥力中等的情况下,每亩增产潜力可达 145.5kg 风调雨顺年份,每亩增产潜力可达 171kg。

2. 陕北黄土高原土壤速效氮较缺的情况下,对大豆产量影响因素的顺序为:氮肥>磷肥>有机肥>密度。虽然大豆是固氮喜磷作物,土壤含碱解氮 35ppm、有机质 0.25% 以下

时,大豆苗期根瘤菌很少,植株靠吸收土壤中氮素建造躯体,氮肥仍是决定产量的首要因素,其氮磷配合的比例以 1 比 1 为宜。据测定以肥调水的作用非常显著,肥大抗旱力强。密度对产量的影响是随雨量、肥力而变化,其单株营养面积的调控能力很强,所以群体作用较小。

3. 陕北榆林地区大豆亩产 100kg 最优(高产低成本)农艺措施组合方案是:每亩密度 6300 株,亩施氮 5kg,施磷 5kg,有机肥 500kg。大豆亩产 145.5kg 最优农艺措施组合方案是:每亩密度 5700 株,施氮 8kg,施磷 10kg,有机肥 500kg。

4. 各增产因素的交互作用中,氮与磷,密度与有机肥有一定的交互作用,密度与磷肥、氮肥与有机肥有一定的负作用。

参 考 文 献

- [1] 丁希泉编著《农业应用回归设计》,吉林科学技术出版社,1986 年,第 123—176
- [2] 陕西省黄土高原治理研究所编《黄土高原开发治理研究》,陕西科技出版社,1990 年 6 月,第 132—138
- [3] 陈国良编著《微机应用与农业系统模型》,陕西科学技术出版社,1985 年第 252—259