

# 长春地区玉米主要农艺措施 高产函数模式分析\*

付生山 王自林

(长春市农科院综合所)

玉米是吉林省最重要的粮食作物。以往对玉米栽培的研究主要是单项的或两项的研究,不易反映出玉米产量与各栽培因子间的综合作用效果以及各栽培因子的定量指标范围。本试验是在较为正常的自然条件下研究玉米主要栽培因子:密度、氮肥、磷肥和钾肥等对玉米产量的综合影响,建立数学模式求得各因子的主次关系;各单因子对玉米产量的影响;两因子间的交互作用;以及公顷产9000公斤以上的优化农艺措施组合方案。为玉米高产提供科学依据。

## 一、试验设计

试验选用二次通用正交回归旋转组合设计。品种为中单2号,选择的主要栽培因子为密度( $x_1$ )、氮肥( $x_2$ )、磷肥( $x_3$ )、钾肥( $x_4$ ),各因子的水平编码,如表1。

表1 因素水平与线性编码

| 因 素           | 零水平      | 间距  | 水平与线性编码 $r=2$ |     |     |     |     |
|---------------|----------|-----|---------------|-----|-----|-----|-----|
|               |          |     | -2            | -1  | 0   | 1   | 2   |
| 密度( $x_1$ )   | 4.2万株/ha | 0.8 | 2.6           | 3.4 | 4.2 | 5.0 | 5.8 |
| 纯氮( $x_2$ )   | 200kg/ha | 100 | 0             | 100 | 200 | 300 | 400 |
| 三料磷肥( $x_3$ ) | 140kg/ha | 70  | 0             | 70  | 140 | 210 | 280 |
| 硫酸钾( $x_4$ )  | 150kg/ha | 75  | 0             | 75  | 150 | 225 | 300 |

试验设31个小区,每小区4垅,垅长10米,垅距62厘米,小区面积为24.8平方米。全部试验分四个区组,区组内随机排列。

试验地选在双阳县齐家乡齐家村。试验土壤为黑土,肥力均匀,基础肥力见表2。

表2 土壤肥力

| 项 目 | 有机质  | 全氮(%)  | 碱解氮(ppm) | 全磷(%)  | 速效磷(ppm) | pH(水浸) |
|-----|------|--------|----------|--------|----------|--------|
| 土壤  | 2.78 | 0.1401 | 119.48   | 0.0578 | 9.24     | 6.5    |

试验地于1990年4月24日播种,在秋翻地的基础上起垅划区。按密度要求刨垅,每垅均匀施入氮肥定量的1/3尿素(含N46%)和全部定量的三料磷肥(含 $P_2O_5$ 46%)和硫酸钾(含 $K_2O$ 50%)做底口肥,覆土压好碾子。10叶期用硝铵(含N34%)做追肥,施入余下的2/3氮肥。生育期间实现三铲三耪,成熟后每小区全部实收测产。

## 二、试验结果

### (一)产量结果

将小区产量折合成公顷产量结果见表3。

### (二)产量数学模式

将田间试验所得的数据在Pc—9801微机上运算处理,得出玉米产量与各因子间的回归

\* 本文承蒙庄铁成、王官清、齐庆双和曲延春副研究员审阅。齐家乡农业站张银宝、修健参加部分田间管理工作,农行信息处付生林同志给予帮助,在此一并致谢。

表3 试验结构矩阵与产量结果

| (kg/ha)        |                                  |                                  |                                  |                                  |      |
|----------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|------|
| 试验号            |                                  |                                  |                                  |                                  |      |
| X <sub>0</sub> | X <sub>1</sub> (X <sub>1</sub> ) | X <sub>2</sub> (X <sub>2</sub> ) | X <sub>3</sub> (X <sub>3</sub> ) | X <sub>4</sub> (X <sub>4</sub> ) | Y    |
| 1 1            | -1(-1)                           | -1(-1)                           | -1(-1)                           | -1(-1)                           | 8535 |
| 2 1            | -1(-1)                           | -1(-1)                           | -1(-1)                           | 1(1)                             | 8775 |
| 3 1            | -1(-1)                           | -1(-1)                           | 1(1)                             | -1(-1)                           | 8610 |
| 4 1            | -1(-1)                           | -1(-1)                           | 1(1)                             | 1(1)                             | 8550 |
| 5 1            | -1(-1)                           | 1(1)                             | -1(-1)                           | -1(-1)                           | 8505 |
| 6 1            | -1(-1)                           | 1(1)                             | -1(-1)                           | 1(1)                             | 8760 |
| 7 1            | -1(-1)                           | 1(1)                             | 1(1)                             | -1(-1)                           | 9090 |
| 8 1            | -1(-1)                           | 1(1)                             | 1(1)                             | 1(1)                             | 9135 |
| 9 1            | 1(1)                             | -1(-1)                           | -1(-1)                           | -1(-1)                           | 8445 |
| 10 1           | 1(1)                             | -1(-1)                           | -1(-1)                           | 1(1)                             | 8655 |
| 11 1           | 1(1)                             | -1(-1)                           | 1(1)                             | -1(-1)                           | 9075 |
| 12 1           | 1(1)                             | -1(-1)                           | 1(1)                             | 1(1)                             | 9165 |
| 13 1           | 1(1)                             | 1(1)                             | -1(-1)                           | -1(-1)                           | 8880 |
| 14 1           | 1(1)                             | 1(1)                             | -1(-1)                           | 1(1)                             | 9270 |
| 15 1           | 1(1)                             | 1(1)                             | 1(1)                             | -1(-1)                           | 9600 |
| 16 1           | 1(1)                             | 1(1)                             | 1(1)                             | 1(1)                             | 9705 |
| 17 1           | -2(-2)                           | 0(0)                             | 0(0)                             | 0(0)                             | 7365 |
| 18 1           | 2(2)                             | 0(0)                             | 0(0)                             | 0(0)                             | 8595 |
| 19 1           | 0(0)                             | -2(-2)                           | 0(0)                             | 0(0)                             | 7545 |
| 20 1           | 0(0)                             | 2(2)                             | 0(0)                             | 0(0)                             | 8970 |
| 21 1           | 0(0)                             | 0(0)                             | -2(-2)                           | 0(0)                             | 8175 |
| 22 1           | 0(0)                             | 0(0)                             | 2(2)                             | 0(0)                             | 9450 |
| 23 1           | 0(0)                             | 0(0)                             | 0(0)                             | -2(-2)                           | 8490 |
| 24 1           | 0(0)                             | 0(0)                             | 0(0)                             | 2(2)                             | 9435 |
| 25 1           | 0(0)                             | 0(0)                             | 0(0)                             | 0(0)                             | 9375 |
| 26 1           | 0(0)                             | 0(0)                             | 0(0)                             | 0(0)                             | 9555 |
| 27 1           | 0(0)                             | 0(0)                             | 0(0)                             | 0(0)                             | 9825 |
| 28 1           | 0(0)                             | 0(0)                             | 0(0)                             | 0(0)                             | 9210 |
| 29 1           | 0(0)                             | 0(0)                             | 0(0)                             | 0(0)                             | 9810 |
| 30 1           | 0(0)                             | 0(0)                             | 0(0)                             | 0(0)                             | 9750 |
| 31 1           | 0(0)                             | 0(0)                             | 0(0)                             | 0(0)                             | 9975 |

注：二次回归旋转组合设计实施计划表(通用)  
 $p=4$   $M_0=16$   $2P=8$   $M_0=7$   $N=31$   $R=2$   
系数个数=15

表5 回归系数t检验

| 回归项 | $b_1$    | $b_2$    | $b_3$    | $b_4$   | $b_{12}$ | $b_{13}$ | $b_{14}$ | $b_{23}$ | $b_{24}$ | $b_{34}$ | $b_{11}$ | $b_{22}$ | $b_{33}$ | $b_{44}$ |
|-----|----------|----------|----------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| t值  | 3.14653* | 3.46294* | 3.26985* | 1.81057 | 0.731987 | 1.01186  | 0.172232 | 0.861161 | 0.279877 | 0.602813 | 5.29718* | 4.13226* | 2.10242* | 1.52679  |

注：\*  $\alpha=0.01 \sim 0.1=2.921 \sim 1.746$  \*  $\alpha=0.1 \sim 0.5=1.746 \sim 0.690$

三、方程模式的解析和寻优

(一)主因素分析

为判断每个试验因子在产量形成上影响作用的大小进行主因素分析,由于回归模型中的一次项和二次项均达到显著标准,交互相只起一定的作用,进行主因素分析时进行一次项和二次项平方和的分析,分析结果见表6。

从表6的分析结果看,各因子的平方和大小顺序为( $x_2=1\ 091\ 370$ )>( $x_3=888\ 870$ )>( $x_1=821\ 250$ )>( $x_4=457\ 770$ ),即试验中各因子对产量影响作用的大小顺序为:氮肥>磷

数学模式为:

$$y = 9642.86 + 223.75x_1 + 246.25x_2 + 232.50x_3 + 128.75x_4 + 63.75x_1x_2 + 88.13x_1x_3 + 15.00x_1x_4 + 75.00x_2x_3 + 24.38x_2x_4 - 52.50x_3x_4 - 345.09x_1^2 - 275.71x_2^2 - 136.96x_3^2 - 99.46x_4^2 \dots\dots\dots(1)$$

为确定回归方程的实际意义,对函数模型进行统计分析检验,结果见表4。

表4 回归方程检验

| 来源  | 平方和(D)      | 自由度(f) | F值        | 显著性                                              |
|-----|-------------|--------|-----------|--------------------------------------------------|
| 总体  | 11893950.00 | 30     |           |                                                  |
| 剩余  | 1941750.00  | 16     |           |                                                  |
| 误差  | 449718.75   | 6      |           |                                                  |
| 失拟性 | 1492031.25  | 10     | 1.99062<  | $F_{0.05}(10,6)=4.06$                            |
| 回归  | 9952200.00  | 14     | 5.85757** | $F_{0.05}(14,16)=2.37$<br>$F_{0.01}(14,16)=3.45$ |

检验结果表明:产量函数二次回归模式差异极显著,方程是有效的。失拟性检验不显著,方程与实际情况拟合的较好,无失拟现象。进一步对回归系数进行t检验,其结果见表5。

对回归系数检验结果表明: $b_1$ 、 $b_2$ 、 $b_3$ 、 $b_4$ 、 $b_{11}$ 、 $b_{22}$ 、 $b_{33}$ 、 $b_{44}$ 、 $b_{13}$ 、 $b_{14}$ 、 $b_{23}$ 在一定水平下差异显著或有作用。由于回归方程差异显著且无失拟现象,以下处理按方程进行。

肥>密度>钾肥,与标准化的偏回归系数直接比较,各因子对产量的影响作用是一致的。 $(b_2=246.25)>(b_3=(232.50)>(b_1=223.75)>(b_4=128.78)$ ,由此可以看出:氮肥、磷肥、密度对产量的影响作用较大,钾肥与上述三因子比次之。因此,在我地区栽培条件下种玉米首先要确定好适宜的密度及氮肥、磷肥的施用量,其次,要获得较高的玉米产量必须配施一定量的钾肥。

表5 密度、N、P、K 在模式中作用效果分析

| 项<br>处<br>理 | 编<br>码 | 平均产量及平方和 |           |         |         |
|-------------|--------|----------|-----------|---------|---------|
|             |        | $x_1$    | $x_2$     | $x_3$   | $x_4$   |
| 一次项         | +1     | 9105     | 9120      | 9120    | 9000    |
|             | -1     | 8745     | 8730      | 8730    | 8850    |
|             | 一次项平方和 | 64 800   | 76 050    | 76 050  | 11 250  |
| 二次项         | +2     | 8595     | 8970      | 9450    | 9435    |
|             | -2     | 7365     | 7545      | 8175    | 8490    |
|             | 二次项平方和 | 756 450  | 1 015 320 | 812 820 | 446 520 |
| 总平方和        |        | 821 250  | 1 097 370 | 888 870 | 457 770 |

## (二)方程模式寻优

对目标函数模式方程进行频数分析,如令步长为1,公顷产9000公斤以上的模式中组合出现的次数为101次,其中各因子编码出现的频数见表7。

从表7中分析我地区种中单2号玉米公顷产9000公斤以上应采取的农艺措施为:每公顷种玉米4.45~4.57万株,施纯氮262.5~277.5公斤,三料磷肥187.5~201.0公斤,硫酸钾166.5~245.1公斤。

表7

中单2号玉米公顷产9000公斤以上的主要农艺措施

(万株、kg/ha)

| 编<br>码                      | 因子<br>频<br>数 | 密度( $x_1$ )   |    |      | 氮肥( $x_2$ )   |    |      | 磷肥( $x_3$ )   |    |      | 钾肥( $x_4$ )   |    |      |
|-----------------------------|--------------|---------------|----|------|---------------|----|------|---------------|----|------|---------------|----|------|
|                             |              | 密度            | 次数 | %    | 纯氮            | 次数 | %    | 三料            | 次数 | %    | 硫酸钾           | 次数 | %    |
| -2                          |              | 2.6           | 0  | 0    | 0             | 0  | 0    | 0             | 0  | 0    | 0             | 8  | 7.9  |
| -1                          |              | 3.4           | 7  | 6.9  | 100           | 6  | 5.9  | 70            | 12 | 11.8 | 75            | 16 | 15.8 |
| 0                           |              | 4.2           | 47 | 46.5 | 200           | 38 | 37.6 | 140           | 26 | 25.7 | 150           | 28 | 27.7 |
| 1                           |              | 5.0           | 47 | 46.5 | 300           | 37 | 36.6 | 210           | 36 | 35.6 | 225           | 29 | 28.7 |
| 2                           |              | 5.8           | 0  | 0    | 400           | 20 | 19.8 | 280           | 27 | 26.7 | 300           | 20 | 19.8 |
| $\bar{x}$                   |              | 0.396         |    |      | 0.703         |    |      | 0.772         |    |      | 0.366         |    |      |
| $sx$                        |              | 0.0371        |    |      | 0.0343        |    |      | 0.0485        |    |      | 0.0593        |    |      |
| 95%置信区间                     |              | 0.3219~0.4701 |    |      | 0.6344~0.7716 |    |      | 0.6751~0.8689 |    |      | 0.2474~1.2086 |    |      |
| 农艺措施                        |              | 4.45~4.57     |    |      | 262.5~277.5   |    |      | 187.5~201.0   |    |      | 166.5~245.1   |    |      |
| 平均量                         |              | 4.51          |    |      | 271           |    |      | 195           |    |      | 204           |    |      |
| N : $P_2O_5$ : $K_2O$<br>比例 |              |               |    |      | 3.01          |    |      | 1.0           |    |      | 1.14          |    |      |

## (三)单因子的产量效应

对回归方程采用“降维法”将其中的  $m-1$  个自变量的值固定在某一水平上,相当于在特定的条件下做的一组单因子试验,以分析单因子的作用效果。如将其它三个变量固定在0水平和1水平值,分别获得如下模式方程(2)。

$$\begin{cases} y_1 = 9642.86 + 223.75x_1 - 345.09x_1^2 \\ y_1 = 9780 + 390.0x_1 - 345x_1^2 \\ y_2 = 9642.86 + 246.25x_2 - 275.71x_2^2 \\ y_2 = 9642.86 + 409.5x_2 - 275.71x_2^2 \end{cases}$$

$$\begin{cases} y_3 = 9642.86 + 232.50x_3 - 136.96x_3^2 \\ y_3 = 9630 + 343.5x_3 - 136.96x_3^2 \\ y_4 = 9642.86 + 128.75x_4 - 99.46x_4^2 \\ y_4 = 9810 + 115.5 - 99.46x_4^2 \end{cases} \dots\dots\dots(2)$$

每个因子与产量的关系见图1~4。

从图1~4中可以看出:随着密度的加大和氮肥、磷肥、钾肥施用量的增加,产量均逐渐增加,区线的顶峰点均在0~1水平之间,到曲线的顶峰点以后产量逐渐减小。每个单因子随着其它三个因子编码的增加(由0增加到1),其产量亦均有增加。

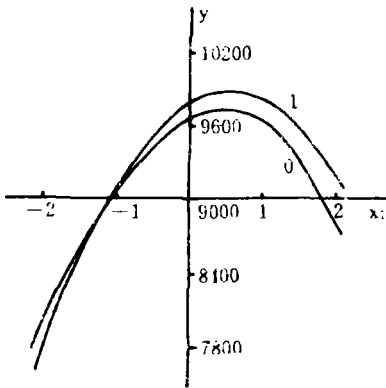


图1 密度与产量的关系

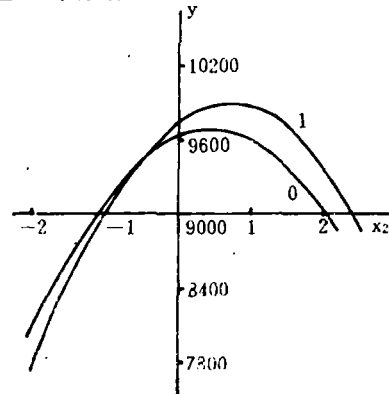


图2 氮肥与产量的关系

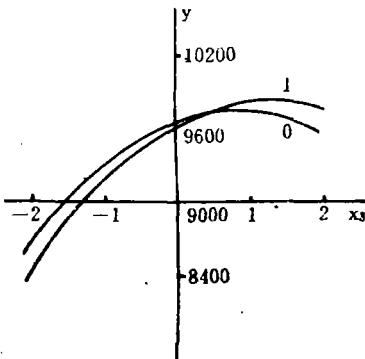


图3 磷肥与产量的关系

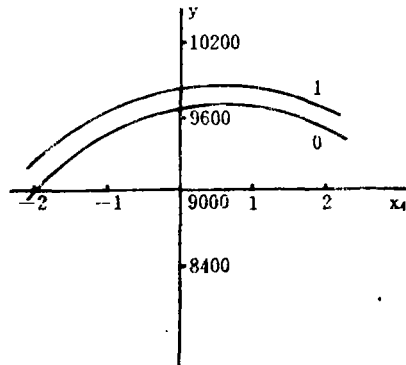


图4 钾肥与产量的关系

#### (四)单因子的边际产量效应及经济分析

对函数方程模式(1)求产量对各因子的一阶偏导数:

$$\frac{\partial y}{\partial x_j} = b_j + \sum b_{0j}x_i + 2b_{jj}x_j$$

固定其它因子在零水平值得出各因子的边际产量函数模式方程(3)。

$$\frac{\partial y}{\partial x_1} = 223.75 - 690.18x_1$$

$$\frac{\partial y}{\partial x_2} = 246.25 - 36.76x_2$$

$$\frac{\partial y}{\partial x_3} = 232.50 - 273.92x_3$$

$$\frac{\partial y}{\partial x_4} = 128.75 - 198.92x_4 \dots\dots\dots (3)$$

将不同的编码值代入方程(3),分别求出不同水平下各因子的边际产量(如表8),形成边际产量效应。

表8 各因子边际产量

| 因子 \ 编码     | -2      | -1     | 0      | 1       | 2        |
|-------------|---------|--------|--------|---------|----------|
| 密度( $x_1$ ) | 1604.11 | 913.93 | 223.75 | -466.43 | -1156.61 |
| 氮肥( $x_2$ ) | 1349.09 | 797.67 | 246.25 | -305.17 | -856.59  |
| 磷肥( $x_3$ ) | 780.34  | 506.42 | 232.50 | -41.42  | -315.34  |
| 钾肥( $x_4$ ) | 525.59  | 327.67 | 128.75 | -70.17  | 269.09   |

从图表中看:边际产量随各因子编码的增加而递减,总产量按一定的递减率增加,当边际产量各因子边际产量效应为零时,为各因子在其它因子在零水平时的最大用量,分别为:密度4.45万株/公顷,纯氮施用量244.5公斤/公顷,三料磷肥施用量199.5公斤/公顷,硫酸钾施用量198.0公斤/公顷。

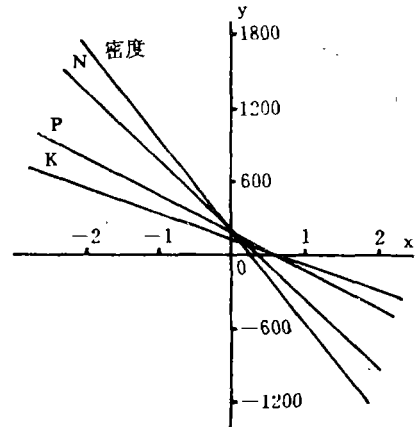


图5 边际产量效应

当边际产量等于边际成本时,即  $\frac{dy}{dx} = \frac{p(x)}{p(y)}$  ( $p(x)$  为单位成本值;  $p(y)$  为单位产出值),如按玉米0.36元/公斤,纯氮1.65元/公斤,三料磷肥0.66元/公斤,硫酸钾0.405元/公斤计算,分别求出各因子的最佳施用量为:纯氮232.5公斤/公顷,三料磷肥194.45公斤/公顷,硫酸钾192公斤/公顷。

从方程及图表中看:当施纯氮232.5公斤/公顷以下,三料磷肥194.45公斤/公顷以下,硫酸钾192公斤/公顷以下,上述三种肥料均有明显的经济效果。

#### (五)两因子间的交互作用

对方程(1)中起交互作用的项进行分析( $x_1x_2$ 、 $x_1x_3$ 、 $x_2x_3$ )固定其它因素为零水平值分别获得方程模式(4)

$$\begin{aligned} y_{1,2} &= 9642.86 + 223.75x_1 + 246.25x_2 + 63.75x_1x_2 - 345.09x_1^2 - 275.71x_2^2 \\ y_{1,3} &= 9642.86 + 223.75x_1 + 232.50x_3 + 88.13x_1x_3 - 345.09x_1^2 - 136.96x_3^2 \\ y_{2,3} &= 9642.86 + 246.25x_2 + 232.50x_3 + 75.00x_2x_3 - 275.71x_2^2 - 136.96x_3^2 \dots\dots\dots (4) \end{aligned}$$

对上述方程求等产线图以分析其间的相互作用,见图6~8。

从图6,7中可以看出:随着密度的增加,氮、磷肥施用量的增加,产量逐渐增加。当密度过高时,产量逐渐减小。从图8中看随氮、磷肥施用量的增加,产量逐渐增加。氮、磷肥的用量分别为纯氮256.5公斤/公顷,  $P_2O_5$  96.6公斤/公顷时产量最高。氮肥、磷肥的最佳配比量为纯氮243.9公斤/公顷,  $P_2O_5$  92.4公斤/公顷, N :  $P_2O_5$  为2.64 : 1(其中纯N为1.65元/公斤,  $P_2O_5$  为1.43元/公斤,玉米为0.36元/公斤)。

#### 四、小 结

(一)本区种中单2号玉米各栽培因子对产量作用的顺序为:氮肥>磷肥>密度>钾肥。

(二)预测中单2号玉米公顷产9000公斤以上在正常的管理条件下各因子的数量为:密

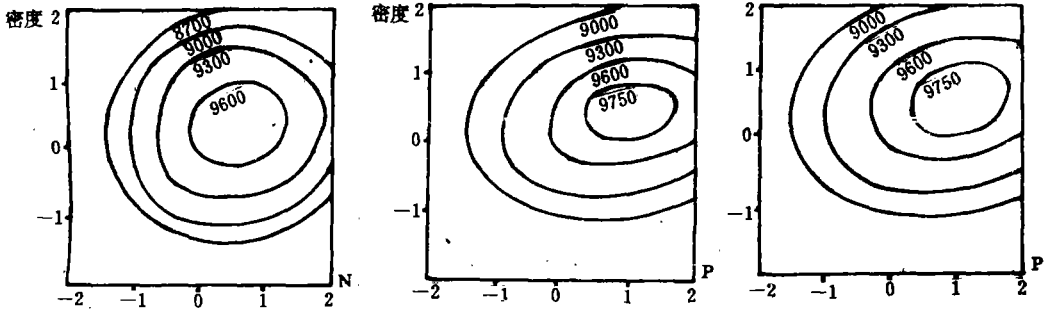


图6 密度和氮的交互作用 图7 密度和磷的交互作用 图8 N、P的交互作用

度4.45~4.56万株/公顷,施纯N为262.5~277.5公斤/公顷;硫酸钾为166.5~241.5公斤/公顷;三料磷肥为187.5~201公斤/公顷。

(三)单因子分析表明,中单2号玉米最大密度为4.46万株/公顷,肥料最佳施用量为纯N232.5公斤/公顷,三料磷肥192.45公斤/公顷,硫酸钾192公斤/公顷。

(四)在一定条件下密度与氮肥,密度与磷肥,氮肥与磷肥有一定的交互作用。氮肥与磷肥的最佳经济配比为N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>为2.64:1。

### 参 考 文 献

- [1]丁希泉,《农业应用回归设计》,吉林科技出版社,1986年。
- [2]李仁岗,《肥料效应函数》,农业出版社,1987年。
- [3]庄恒扬、成敬生,作物规范化栽培试验分析几个问题的商榷,《农业系统科学与综合研究》,1990年,第4期,42~47页。
- [4]王兴仁,二元二次肥料效应曲面等产线图在科学施肥中的位置,《土壤通报》,1985,第1期,30~34页,第2期86~88页。

## 欢迎订阅 1993 年《陕西农业科学》

《陕西农业科学》是陕西省农业科学院主办的综合性农业科技期刊,办刊宗旨是:立足本省,面向全国,贯彻“双百”方针,突出旱地农业,提高与普及兼顾,追踪农业科学研究热点,报道最新农业研究成果,提供创新性的实用技术,竭诚为农业科研人员、大专院校师生、各级管理干部、农技推广人员及农村专业户服务。

《陕西农业科学》为双月刊,逢单月25日出版。16开本,48页,公开发行,每册定价0.50元,邮发代号52—50,全国各地邮局(所)均可订阅。

编辑部邮编及地址:712100 陕西省杨陵镇省农业科学院内。