

# 应用二次通用旋转组合设计的方法 分析有机肥与化肥配合施用的效果\*

朱 平 孙宏德 李 军 尚惠贤

(吉林省农科院土肥所)

## 摘 要

通过田间试验,采用二次通用旋转组合设计的方法分析了有机肥与化肥配合施用的效果,得回归方程 $y=540.78+22.15x_1+58.34x_2+27.15x_3+3.67x_4-0.44x_1x_2+7.44x_1x_3+2.44x_1x_4+4.25x_2x_3-3.75x_2x_4-1.25x_3x_4-3.86x_1^2-8.29x_2^2-6.86x_3^2-9.42x_4^2$ ,并可化简为 $\hat{y}=540.78+22.15x_1+58.34x_2+27.15x_3+7.44x_1x_3+4.25x_2x_3-3.86x_1^2-8.29x_2^2-6.86x_3^2-9.42x_4^2$ ;通过回归方程计算的理论产量与实际产量相吻合,回归方程复相关系数 $R=0.996$ ,结果表明,在中等肥力黑土上,种植作物的高产因素主要由施用有机肥、氮肥、磷肥构成,有机肥与磷肥、氮肥与磷肥配合施用效果较好。在施N 20公斤/亩,  $P_2O_5$  10公斤/亩,  $K_2O$  5公斤/亩左右,并配合施有机肥 1吨/亩左右,此时玉米产量达到最高,经济效益也最大;最佳施肥量区域是亩施 $N_{12}$ -20公斤,  $P_2O_5$  7-10公斤,  $K_2O$  3-5公斤,有机肥 1吨左右。

## 一、前 言

随着我省化肥施用量的不断增加和有机肥料投入的逐年减少,目前耕地地力下降和投入化肥的报酬效益递减的现象逐年加剧;为了维持和提高土壤肥力、提高投入化肥的经济效益和指导有机肥与化肥的合理配比施用,孙宏德李军等于1980年起在公主岭省农科院试验地和1982年起在公主岭市刘房子乡、德惠县杏山乡农科站试验地等设置了土壤肥力及肥料效益定位监测试验,研究有机肥及有机肥与化肥配合施用对土壤肥力及作物产量、经济效益的影响。本文所述是这项研究的一部分,采用二次通用旋转组合设计的方法,于1985年和1986年在公主岭市刘房子乡,对有机肥与氮、磷、钾化肥配合施用的效果进行研究,意在通过统计分析找出一个经济有效的施肥方程和最佳施肥范围,为指导农业生产提出科学依据。

## 二、试验基本情况

供试土壤为薄层黑土(公主岭市刘房子乡湾沟村),取土深度为0—20cm,有机质含量2.12%,全氮0.12%,全磷0.06%,全钾1.91%,容重1.15g/cm<sup>3</sup>小区面积50m<sup>2</sup>(4.2×11.9m),6垄区。供试作物为玉米吉单101(1985年)和丹玉13(1986年),有机肥料为过圈猪粪,有机质含量平均8%;氮肥为硝酸铵,磷肥为三料过磷酸钙,钾肥为硫酸钾。

\* 参加工作的还有:刘淑环、宋亚茹、安卫红、赵洪翔、王柏涛和宋纲同志。

### 三、试验设计与实施

采用四因素（有机肥、氮肥、磷肥、钾肥，分别用 $x_1$ 、 $x_2$ 、 $x_3$ 、 $x_4$ 表示）五水平（ $r = 2, 1, 0, -1, -2$ ）二次通用旋转组合设计的方法，设31个小区处理，根据设计原理，不设无肥处理，以 $m$ 为对照试验的因子水平及编码结构矩阵见表1，表2。

表1 四因素五水平旋转组合设计因子水平及编码 单位：公斤/亩

编码号	$x_1$	$x_2$		$x_3$		$x_4$	
	有机肥	N	合硝铵	$P_2O_5$	合三料	$K_2O$	合硫酸钾
$r=2$	4000	12.5	36.25	6.25	13.60	6.25	12.5
1	3050	9.5	27.55	4.75	10.35	4.75	9.5
0	2100	6.5	18.85	3.25	7.10	3.25	6.5
-1	1150	3.5	10.15	1.75	3.85	1.25	3.5
-2	200	0.5	1.45	0.25	0.6	0.25	0.5
变化区间	950	3.0	8.70	0.15	3.25	1.50	3.0

表2 四因素五水平旋转组合设计结构矩阵

处理号	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_1x_2$	$x_1x_3$	$x_1x_4$	$x_2x_3$	$x_2x_4$	$x_3x_4$	$x_1^2$	$x_2^2$	$x_3^2$	$x_4^2$
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	1	1	1
3	1	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	1	1
4	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1
5	1	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	1	1
6	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	1	1
7	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	1
8	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1
9	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1
10	1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	1
11	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1
12	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	1	-1	1	1	1	1
13	1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1
14	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	1	1
15	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	1	-1	-1	1	1	1	1
16	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
17	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0
18	1	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0
19	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0
20	1	0	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0
21	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0
22	1	0	0	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0
23	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
24	1	0	0	0	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
25	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

注：试验地点在公主岭市刘房子乡湾沟村（1985—1986年）

1985年4月20日播种, 1986年4月24日播种, 行距70cm, 株距30cm, 10月1日前收获; 每小区取20穗样考种, 计算产量, 田间管理采用三铲三趟, 有机肥及磷、钾肥于播前做基肥一次施入, 氮肥一半做基肥, 一半做追肥。

#### 四、试验结果与分析

试验的产量结果见表3, 表中结果为1985、1986年产量的平均值。

表3 刘房子乡四因素五水平旋转试验产量结果 (公斤/亩)

处理号	产量 Y <sub>a</sub>	处理号	产量 Y <sub>a</sub>	处理号	产量 Y <sub>a</sub>	处理号	产量 Y <sub>a</sub>
1	653	9	592	17	558	25	533
2	650	10	585	18	492	26	543
3	558	11	530	19	606	27	550
4	552	12	508	20	408	28	546
5	547	13	450	21	526	29	537
6	493	14	455	22	499	30	543
7	450	15	415	23	497	31	535
8	425	16	390	24	504		

##### (一) 回归方程的推导

根据二次通用旋转组合设计的原理, 四种肥料同时施用的施肥生产函数采用多项式作二次回归方程的数学模型, 模型的形式为:  $\hat{y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{14}x_1x_4 + b_{23}x_2x_3 + b_{24}x_2x_4 + b_{34}x_3x_4 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2 + b_{44}x_4^2$ ; 式中,  $\hat{y}$ —理论产量;  $x_1$ —有机肥施用量;  $x_2$ —氮肥施用量;  $x_3$ —磷肥施用量;  $x_4$ —钾肥施用量;  $b_0 \sim b_{44}$ —回归方程系数。

根据表3中试验结果, 计算出回归方程系数b, 结果见表4。

表4 回归方程系数

b <sub>0</sub>	540.78	b <sub>3</sub>	27.15	b <sub>3</sub>	7.44	b <sub>24</sub>	-3.75	b <sub>22</sub>	-8.29
b <sub>1</sub>	22.15	b <sub>4</sub>	3.67	b <sub>14</sub>	2.44	b <sub>34</sub>	-1.25	b <sub>33</sub>	-6.86
b <sub>2</sub>	58.34	b <sub>12</sub>	-0.44	b <sub>23</sub>	4.25	b <sub>11</sub>	-3.86	b <sub>44</sub>	-9.42

得回归方程式为:  $\hat{y} = 540.78 + 22.15x_1 + 58.34x_2 + 27.15x_3 + 3.67x_4 - 0.44x_1x_2 + 7.44x_1x_3 + 2.44x_1x_4 + 4.25x_2x_3 - 3.75x_2x_4 - 1.25x_3x_4 - 3.86x_1^2 - 8.29x_2^2 - 6.86x_3^2 - 9.42x_4^2$ 。

##### (二) 对回归方程进行显著性测定

当  $f_1 = C_{p+2} - 1 = 14$ ,  $f_2 = N - C_{p+2} = 18$  时, 查F表,  $F_{0.01} = 3.45$ 。经计算, 回归方程  $F = 8.27$ ,  $F > F_{0.01}$ , 达极显著水平, 说明回归方程成立。将各处理不同施肥数值(编码r)代入回归方程式, 计算各处理的理论产量, 结果见表6。理论产量与实际产量相吻合, 回归方程相关系数  $R = 0.9966$ 。

##### (三) 对回归方程系数b进行T检验

计算结果见表7 当  $f = 6$  时,  $\alpha_{0.001} = 5.959$ ,  $\alpha_{0.01} = 3.707$ ,  $\alpha_{0.05} = 2.447$ 。

结果表明,  $b_0, b_1, b_2, b_3, b_{22}, b_{44}$  达1%显著水平,  $b_{13}, b_{23}, b_{33}$  达1%显

表 5

## 理论产量与实际产量比较

(公斤/亩)

处理号	实际产量 $y_a$	理论产量 $\hat{y}$	$y_a - \hat{y}$	处理号	实际产量 $\hat{y}_a$	理论产量 $\hat{y}$	$y_a - \hat{y}$
1	653	635	18	17	558	570	-12
2	650	627	23	18	492	481	11
3	558	566	0	19	606	625	-19
4	552	549	3	20	408	393	15
5	547	517	30	21	526	567	-41
6	493	497	-4	22	499	459	40
7	450	458	-8	23	497	511	-14
8	425	434	-9	24	504	491	13
9	592	570	22	25	533	540	-7
10	585	567	18	26	543	540	3
11	530	533	-3	27	550	540	10
12	508	525	-17	28	546	540	6
13	450	453	-3	29	537	540	-3
14	455	442	13	30	543	540	3
15	415	424	-9	31	535	540	-5
16	390	408	-18				

著水平,  $b_{11}$  达 5% 显著水平。即, 施用有机肥、氮肥、磷肥及有机肥与磷肥、氮肥与磷肥配合施用对作物产量的影响比较明显, 施用钾肥及有机肥与氮肥配施, 有机肥与钾肥、磷肥与钾肥配合施用效果不明显。回归方程可化简为:  $\hat{y} = 540.78 + 22.15x_1 + 58.34x_2 + 27.15x_3 + 7.44x_1x_3 + 4.25x_2x_3 - 3.86x_1^2 - 8.29x_2^2 - 6.86x_3^2 - 9.42x_4^2$ ; 此方程可称其为经济有效施肥方程。

表 6

## 回归方程系数 (b) 显著性测定 (t 值)

$t_0$	224.405***	$t_3$	20.841***	$t_{13}$	4.666**	$t_{24}$	2.352	$t_{22}$	6.773***
$t_1$	17.014***	$t_4$	1.968	$t_{14}$	1.530	$t_{34}$	0.784	$t_{33}$	5.746**
$t_2$	44.821***	$t_{12}$	0.275	$t_{23}$	4.665**	$t_{11}$	3.231*	$t_{44}$	8.315***

## (四) 获最高产量施肥方案

因为回归方程中二次项系数 ( $b_{11} - b_{44}$ ) 小于零, 所以  $\hat{y}$  有最大值。根据高等数学原理, 欲求得  $\hat{y}$  的最大值须满足于产量函数 ( $\hat{y}$ ) 对各因素 ( $x_i$ ) 的一阶偏导等于零, 即  $\frac{\partial \hat{y}}{\partial x_i} = 0$ ; 根据回归方程可设立如下方程组:

$$\frac{\partial \hat{y}}{\partial x_1} = 22.15 - 0.44x_2 + 7.44x_3 - 2.44x_4 - 2 \times 3.86x_1 = 0$$

$$\frac{\partial \hat{y}}{\partial x_2} = 58.34 - 0.44x_1 + 4.25x_3 - 3.75x_4 - 2 \times 8.29x_2 = 0$$

$$\frac{\partial \hat{y}}{\partial x_3} = 27.15 + 7.44x_1 + 4.25x_2 - 1.25x_4 - 2 \times 6.86x_3 = 0$$

$$\frac{\partial \hat{y}}{\partial x_4} = 3.67 + 2.44x_1 - 3.75x_2 - 1.25x_3 - 2 \times 9.42x_4 = 0$$

解此方程组,  $x_1 = -0.8$ ,  $x_2 = 4.9$ ,  $x_3 = 3.8$ ,  $x_4 = -1.0$ 。将此水平换算成相应的施肥量得: 有机肥1340公斤/亩; N21.2公斤/亩, 折算硝酸铵60.5公斤/亩;  $P_2O_5$  8.9公斤/亩, 折算三料磷肥19.5公斤/亩;  $K_2O$  1.8公斤/亩, 折算硫酸钾3.5公斤/亩; 在这一施肥水平条件下, 可获得最高产量为829公斤/亩。但由于试验的最大施肥量为有机肥4000公斤/亩, N 12.5公斤/亩,  $P_2O_5$  6.3公斤/亩,  $K_2O$  6.3公斤/亩; 除有机肥外, 其它施肥量值属于外推, 从计算结果看, 在获最高产量施肥量区域内, 再增大氮、磷肥的施用量产量还能增加。

### (五) 获最高利润的最优施肥方案

按1985年玉米每公斤价0.26元, N素1.06元/公斤,  $P_2O_5$  1.02元/公斤,  $K_2O$  0.78元/公斤, 有机肥5元/吨计算, 欲获最高利润须满足于  $\frac{\partial \hat{y}}{\partial x_i} = q_i / p$ , 式中  $q_i$  — 肥料单位养分价格(元/公斤),  $P$  — 粮食单价(元/公斤); 则根据回归方程可列如下方程组:

$$\begin{cases} \frac{\partial \hat{y}}{\partial x_1} = 22.15 - 0.44x_2 + 7.44x_3 - 2.44x_4 - 2 \times 3.86x_1 = \frac{0.005}{0.26} \\ \frac{\partial \hat{y}}{\partial x_2} = 58.34 - 0.44x_1 + 4.25x_3 - 3.75x_4 - 2 \times 8.29x_2 = \frac{1.06}{0.26} \\ \frac{\partial \hat{y}}{\partial x_3} = 27.15 + 7.44x_1 + 4.25x_2 - 1.25x_4 - 2 \times 6.86x_3 = \frac{1.02}{0.26} \\ \frac{\partial \hat{y}}{\partial x_4} = 3.67 + 2.44x_1 - 3.75x_2 - 1.25x_3 - 2 \times 9.42x_4 = \frac{0.78}{0.26} \end{cases}$$

解此方程组,  $x_1 = -1.0$ ,  $x_2 = 4.5$ ,  $x_3 = 3.1$ ,  $x_4 = -1.1$ , 相应的施肥量为: 有机肥1150公斤/亩; N20公斤/亩, 合硝酸铵57公斤/亩;  $P_2O_5$  7.9公斤/亩, 合三料磷肥17公斤/亩;  $K_2O$  1.6公斤/亩, 合硝酸钾3.2公斤/亩, 此时可获得作物产量为822公斤/亩, 利润176.64元。(注: 利润中不记用工等费用, 只扣除投入肥料的支出, 下同)。

### (六) 经济效益分析

根据试验所得回归方程, 推算在不同施肥水平条件下作物产量及经济效益的变化。为了便于比较, 我们选择几个有代表性的结果进行分析, 结果见表7。在不施用有机肥料条件下, 亩施N12.5公斤,  $P_2O_5$  6.25公斤,  $K_2O$  6.25公斤, 亩产可达633公斤, 创经济效益140.53元; 在施用等量的化肥, 配施21.00公斤/亩有机肥料情况下, 亩产为685公斤, 创效益143.50元, 比不施农肥增加2.4%; 在亩施2100公斤有机肥, 不施氮肥及不施磷肥时, 产量和经济效益都比较低; 单施高量的有机肥料, 结果与不施氮或不施磷效果相同。

表7 不同施肥水平作物产量及经济效益分析

有机肥	施肥量(公斤/亩)			理论产量 (公斤/亩)	亩收益 (元)
	N	$P_2O_5$	$K_2O$		
0	12.5	6.25	6.25	633	140.53
2100	12.5	6.25	6.25	685	143.50
2100	0	6.25	6.25	517	112.67
2100	12.5	0	6.25	550	114.38
4000	6.5	3.25	3.25	630	137.04
4000	0	0	0	526	116.76
3050	9.5	4.75	4.75	634	131.10
1150	20.0	7.90	1.60	822	176.64
1340	21.2	8.90	1.75	829	175.87
1150	30.0	12.5	6.25	828	156.05

在超过获最高利润施肥量以后，继续增加肥料的投入，虽然产量很高但收益下降。因此，适当增加氮、磷肥施用量，再配合施用一定量的有机肥料，不论从产量还是经济效益上看，都能收到比较满意的效果，从作物产量和经济效益上分析，最佳施肥量区域应在亩施  $N_{12}$ —20公斤， $P_2O_5$  7—10公斤， $K_2O$  3—5公斤，并配合施用1吨/亩左右有机肥料，在这个范围内，作物产量和经济效益随施肥量的增加而递增；从计算结果还可以看出，增加钾肥施用量增产增收的效果都不明显，由于这仅是两年的试验结果，还有待于进一步探讨。

## 五、结 语

(一) 通过田间试验和数理统计分析，施肥与产量的回归方程式为： $\hat{y} = 540.78 + 22.15x_1 + 58.34x_2 + 27.15x_3 + 3.67x_4 - 0.44x_1x_2 + 7.44x_1x_3 + 2.44x_1x_4 + 4.25x_2x_3 - 3.75x_2x_4 - 1.25x_3x_4 - 3.86x_1^2 - 8.29x_2^2 - 6.86x_3^2 - 9.42x_4^2$ ；并可简化为经济有效施肥方程  $\hat{y} = 540.78 + 22.15x_1 + 58.34x_2 + 27.15x_3 + 7.44x_1x_3 + 4.25x_2x_3 - 3.86x_1^2 - 8.29x_2^2 - 6.86x_3^2 - 9.42x_4^2$ 。由于试验结果的分析充分利用了试验中的每一个数据，全面分析了不同肥料、不同施用量对作物产量和经济效益的影响，因此结论是比较全面可靠的；通过回归方程计算的理论产量和试验的实际产量间的吻合度较好，此回归方程可以作为中等肥力黑土预测产量、指导经济合理施肥的施肥方程。

(二) 在中等肥力黑土上，种植作物的增产因素主要由施用有机肥、氮肥、磷肥及有机肥与磷肥、氮肥与磷肥配合施用构成，在施用低量氮、磷肥条件下，施用钾肥没有明显的增产作用，在施用高量氮肥和磷肥条件下，要获得高产，需要配合施用少量的钾肥。

(三) 在中等肥力黑土上，最佳施肥量区域为  $N_{12}$ —20公斤/亩左右， $P_2O_5$  7—10公斤/亩左右， $K_2O$  3—5公斤/亩左右，并要求辅施1吨/亩左右的有机肥料，在此范围内，作物的产量和经济效益随施肥量的增加而递增，最高产量可达829公斤/亩，最大利润可达176.64元，超过这个范围作物产量及经济效益都有下降趋势。

(四) 通过回归方程推算的获最高产量施肥量和获最大利润施肥量都高于试验处理的最大施肥量，因此它指出了进一步试验的施肥量范围，为指导农业生产提供了理论依据。

## 参 考 文 献

- (1) 丁希泉著：《农业应用回归分析》，吉林农业出版社，1986。
- (2) 周鸣铮：略论有机肥料与配方施肥问题，《土壤通报》，第20卷，P145—146。
- (3) 丁希泉、郑秀梅著：《农业回归分析》，吉林农业出版社，1989。

(上接第39页)

## 参 考 文 献

- (1) 蔡邦华，昆虫分类学(上、中、下)，科学出版社，1956、1973、1985年。
- (2) 土山哲夫：《昆虫学报》，1953，(3)37—83。
- (3) 四川省农科院植保所等：《四川农业害虫及其天敌名录》，四川科学技术出版社，1986。
- (4) B·H·谢戈列夫：《农业昆虫学》(中册)高等教育出版社，1956，246~247。