

# 玉米合玉 11 号高产栽培 技术数学模型研究

连成才 史占忠 张静兰 鄂文顺

(黑龙江省农科院合江农科所)

玉米是佳木斯地区的主要粮食作物之一,播种面积占耕地面积的 25~30%。由于综合栽培技术组装不尽合理,加之个别年份低温冷害的影响,年度间单产波动变幅大,总产下降,是生产上急需解决的问题。本试验运用最佳模拟配合法,进行多因素综合试验,经微机解析出各因素对产量的作用,定量分析出玉米高产各因素相互作用的最佳组合方案,为第二积温带玉米高产栽培技术提供科学依据。

## 一、试验设计

试验采取四元二次正交回归旋转组合设计。按设计要求 36 个小区,  $mc=16$ ,  $mr=8$ ,  $mo=12$ 。以播期( $x_1$ )、密度( $x_2$ )、氮肥( $x_3$ )、磷肥( $x_4$ )四项农艺措施为决策变量,通过田间试验,微机寻优,建立玉米高产最佳栽培法函数模型。玉米栽培因素线性编码(表 1)。

供试品种合玉 11 号。行距 70 厘米,小

表 1 因素线性编码表

因 素	零水平	间 距	x=2 设 计 水 平				
			- 2	- 1	0	1	2
$x_1$ 播期	5 月 5 日	5	25/4	30/4	5/5	10/5	15/5
$x_2$ 密度	3333.3 株/亩	333.3	2666.7	3000	3333.3	3666.7	4000
$x_3$ 氮肥	16 公斤/亩	8	0	8	16	24	32
$x_4$ 磷肥	8 公斤/亩	4	0	4	8	12	16

注:肥料为商品量,氮肥——尿素,磷肥——三料过石

区宽 0.7 米×5 垄,长 10 米,小区面积 35 平方米。人工开沟点播,磷肥做种肥,开沟条施,氮肥拔节期做追肥。其它措施按常规方法严格实施。

试验地为冲积沙壤土,0~20 厘米耕层有机质含量 2.4%,全氮 0.183%,全磷 0.116%,全钾为 0.27%,水浸 pH 为 8.9。

区采 5 平方米测产,室内考种。试验结构矩阵及目标函数结果(表 2)。

## 2. 目标函数模型

根据试验得到的参数,应用黑龙江省农垦科学院 Z80-C 微机运算,获得玉米合玉 11 号对综合农艺措施反应的四元二次多项式回归方程。

产量函数模型。

$$y = 921.444 + 23.1279x_1 + 30.2271x_2 + 79.0479x_3 - 10.3579x_4 + 28.9419x_1x_2 + 2.18813x_1x_3 + 11.1119x_1x_4 +$$

## 二、试验结果分析

### 1. 产量结果

玉米成熟后,去掉小区边行及两端,每

表 2

试验结构矩阵及指标结果

试验号	播期 $x_1$	密度 $x_2$	氮肥 $x_3$	磷肥 $x_4$	产 量 $y_1$ 公斤/亩	试验号	播期 $x_1$	密度 $x_2$	氮肥 $x_3$	磷肥 $x_4$	产 量 $y_1$ 公斤/亩
1	1	1	1	1	502.2	19	0	2	0	0	459.9
2	1	1	1	-1	520.1	20	0	-2	0	0	428.9
3	1	1	-1	1	433.2	21	0	0	2	0	530.3
4	1	1	-1	-1	410.6	22	0	0	-2	0	243.6
5	1	-1	1	1	415.1	23	0	0	0	2	419.6
6	1	-1	1	-1	393.8	24	0	0	0	-2	458.9
7	1	-1	-1	1	393.3	25	0	0	0	0	445.9
8	1	-1	-1	-1	397.6	26	0	0	0	0	507.3
9	-1	1	1	1	413.9	27	0	0	0	0	496.7
10	-1	1	1	-1	491.9	28	0	0	0	0	484.4
11	-1	1	-1	1	420.0	29	0	0	0	0	421.9
12	-1	1	-1	-1	357.5	30	0	0	0	0	445.9
13	-1	-1	1	1	412.5	31	0	0	0	0	435.8
14	-1	-1	1	-1	437.2	32	0	0	0	0	400.9
15	-1	-1	-1	1	386.1	33	0	0	0	0	462.8
16	-1	-1	-1	-1	413.1	34	0	0	0	0	424.9
17	2	0	0	0	510.1	35	0	0	0	0	487.5
18	-2	0	0	0	438.1	36	0	0	0	0	514.6

$$29.8119x_2x_3 + 2.98813x_2x_4 - 19.1656x_3x_4 + 2.9317x_1^2 - 11.9432x_2^2 - 40.6536x_3^2 - 14.5182x_4^2 \dots\dots\dots (1)$$

为了确定产量函数模型的实际意义，需对方程进行方差分析。

$$\begin{aligned} S_{总} &= 423700 & F_{总} &= 35 \\ S_{回} &= 287475 & F_{回} &= 14 \\ S_{剩} &= 136225 & F_{剩} &= 21 \\ S_{拟} &= 76027 & F_{拟} &= 10 \\ S_{误} &= 60200 & F_{误} &= 11 \end{aligned}$$

$$F_1 = 1.38916 < F_{0.25}(10, 11) = 1.53$$

$$F_2 = 3.16545 > F_{0.01}(14, 21) = 3.07$$

通过  $F$  检验表明，产量函数模型与实际情况拟合的好。说明试验差异是由试验误差引起的，试验数据与所采用的函数模型相符合，模型是有效的。方程能反映出玉米产量

与四个主要栽培因素之间的综合关系。进一步对回归系数进行二次方差检验，对不显著的变量从方程中剔除，得到最后的方程表达式。

$$\begin{aligned} y &= 921.444 + 23.1279x_1 + 30.2271x_2 + \\ &79.0479x_3 + 28.9419x_1x_2 + \\ &29.8119x_2x_3 - 40.653x_3^2 \end{aligned}$$

由于方程拟合的好，可用原方程直接分析。

### 三、模型的优化分析

#### 1. 模型最优解

目标函数为非线性函数，约束范围  $-2 \leq x_i \leq 2$ ,  $m=4$ 。要确定玉米最高产量的因素水平，需要满足函数对各因素一阶偏导数等于零。令  $\frac{\partial y}{\partial x_i} = 0$  即：

$$\begin{aligned}\frac{\partial y}{\partial x_1} &= 23.1279 + 5.86344x_1 + 28.9419x_2 \\ &\quad + 2.18813x_3 + 11.1119x_4 \\ \frac{\partial y}{\partial x_2} &= 30.2271 + 28.9419x_1 - 23.8864x_2 \\ &\quad + 29.8119x_3 + 2.98813x_4 \\ \frac{\partial y}{\partial x_3} &= 79.0479 + 2.18813x_1 + 29.8119x_2 \\ &\quad - 81.3072x_3 - 19.1656x_4 \\ \frac{\partial y}{\partial x_4} &= -10.3579 + 11.1119x_1 + \\ &\quad 2.98813x_2 - 19.1656x_3 - \\ &\quad 29.0364x_4\end{aligned}$$

因各系数矩阵不定,  $\hat{y}$  有稳定点, 无极大值。在微机上寻出  $x_1 = 2, x_2 = 2, x_3 = 2, x_4 = -1$  时, 合玉 11 号有最高产量的农艺决策变量, 将  $x_1$  代入(1)式中,  $y = 618.67$  公斤/亩, 其相应的组合措施为播期 5 月 15 日, 密度 4000 株/亩, 氮肥 (尿素) 32 公斤/亩, 磷肥 (三料) 4 公斤/亩。由于试验受随机干扰, 频率较低, 所以这个最优解不一定是生产上的最优解, 但可说明合玉 11 号品种的内函生产潜力是很大的。

## 2. 主成分分析

在微机上对方程(1)进行正交变换, 得到标准方程为:

$$\begin{aligned}y_1 &= 0.81322x_1 - 0.525874x_2 + \\ &\quad 0.0607614x_3 + 0.241841x_4 \\ y_2 &= 0.546823x_1 + 0.596729x_2 - \\ &\quad 0.383468x_3 - 0.444869x_4 \\ y_3 &= 0.141259x_1 + 0.128007x_2 + \\ &\quad 0.887476x_3 - 0.419647x_4 \\ y_4 &= 0.14054x_1 + 0.592481x_2 + \\ &\quad 0.248403x_3 + 0.75336x_4 \\ y &= 921.444 + 45.0459y_1 + 9.85633y_2 + \\ &\quad 57.3906y_3 - 48.8267y_4 + 13.8132y_1^2 \\ &\quad - 20.0161y_2^2 - 49.7042y_3^2 - \\ &\quad 8.27979y_4^2 \dots\dots\dots (2)\end{aligned}$$

从标准方程(2)分析四项因素对产量的作用大小的顺序是: 氮肥 > 密度 > 播期 > 磷肥, 可见在综合农艺措施中, 氮肥、密度对

产量的作用影响较大, 在生产中要获得玉米高产, 需要重点把握住这两个栽培因素, 其次是播期和磷肥。

## 3. 单因素效应分析

采用降维法, 分析二次项效应与产量的关系, 在回归方程(1)中将其中 3 个自变量固定在零水平, 即相当于在特定条件下所进行的一组单因子试验, 分析每一个自变量与产量的关系, 得到回归子模型:

$$\begin{aligned}y_1 &= 921.444 + 23.1279x_1 + 2.93172x_1^2 \\ y_2 &= 921.444 + 30.2271x_2 - 11.9432x_2^2 \\ y_3 &= 921.444 + 79.0479x_3 - 40.6536x_3^2 \\ y_4 &= 921.444 - 10.3579x_4 - 14.5182x_4^2 \\ &\dots\dots\dots (3)\end{aligned}$$

把各自变量不同取值水平分别代入方程(3)中, 得出各自变量不同水平值氮肥、磷肥对应的产量, 图 1 表明在  $-2 \leq x_i \leq 2$  的范围内对产量影响较大。密度播期对产量呈直线关系。氮肥曲线在零水平时, 玉米产量随着

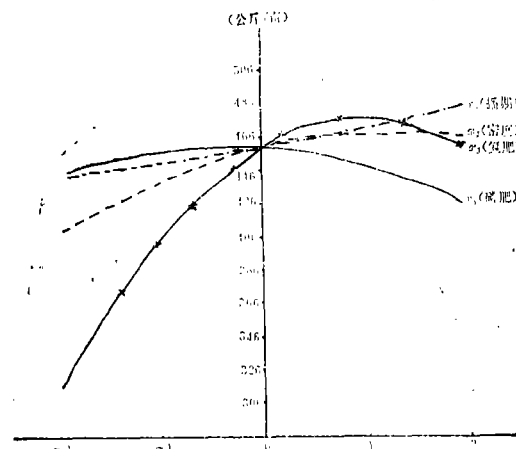


图 1 各因素与产量的关系

氮肥用量的增加产量提高, 当氮肥超过一定量时, 产量下降。氮肥亩用量在 24 公斤时, 比不施氮肥每亩增产 138.4 公斤, 比亩用 8 公斤氮肥, 每亩增产 78 公斤, 当氮肥亩用量增加到 32 公斤时, 亩减产玉米 21 公斤。磷肥亩用量 8 公斤, 比不施磷亩增产玉米 18.5 公斤, 亩用量超过 12 公斤磷肥, 产量开始下降。说明要创造玉米高产, 必须经济有效的合理施用氮磷肥。

#### 4. 两因素交互效应

在农艺系统中各因素之间是相互连应作用于产量,要揭示其内在作用,在方程(1)中任意固定两个因素在零水平,即可得到其它两个因素的相互作用与产量的关系。仅就因素之间交互作用明显项进行分析。经微机

计算出播期( $x_1$ )与磷肥( $x_4$ )两因素的函数子模型及两因素交互作用对玉米产量影响。从表3及图2可看出:

$$y_{1,1} = 921.444 + 231.1279x_1 - 10.3579x_4 + 11.1119x_1x_4 + 2.93172x_1^2 - 14.5182x_4^2$$

表3 播期与磷肥交互效应对玉米产量的影响 (单位:公斤/亩)

$X_4 \backslash X_1$	-2	-1	0	1	2	Y	S	OV%
-2	447.003	443.058	442.044	443.962	448.811	444.975	5.916	0.665
-1	452.489	454.100	458.642	466.116	476.522	461.573	19.875	2.153
0	443.458	450.624	460.722	473.752	489.714	463.653	37.047	3.995
1	419.909	432.630	448.284	466.870	488.387	451.216	54.406	6.029
2	381.841	400.119	421.329	445.470	472.544	424.261	71.885	8.472
Y	428.941	436.107	446.204	459.234	475.196	449.136	/	/
S	58.181	43.445	31.702	27.111	33.015	/	37.826	/
OV%	6.782	4.981	3.552	2.952	3.474	/	/	4.263

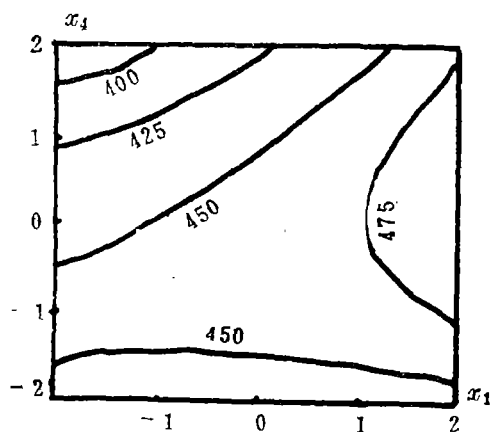


图2 播期与磷肥交互效应

早播增加磷肥作种肥的用量有明显的增产效果,说明早播必须与施磷结合,但不是施磷越多越好,磷肥用量超过零水平,产量反而下降。早播磷肥用量应在-1~0之间。

密度( $x_2$ )与氮肥( $x_3$ )两因素的函数子模型为:

$$y_{2,2} = 921.444 + 30.2271x_2 + 79.0479x_3 + 29.8119x_2x_3 - 11.9432x_2^2 - 40.6536x_3^2$$

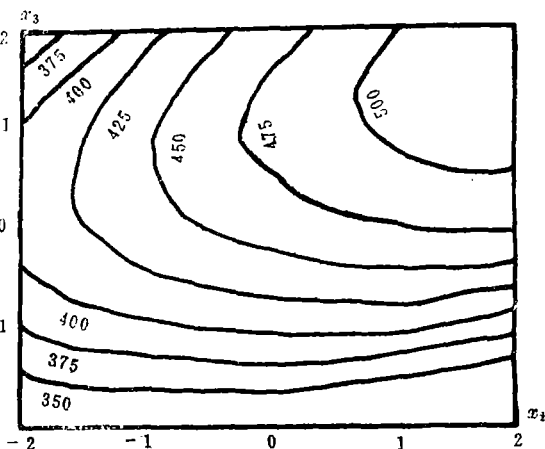


图3 密度与氮肥交互效应

由表4及图3看出,随着密度的增加氮肥施用量减少,产量明显下降。氮肥在0~1之间,随着密度的增加产量明显提高,氮肥用量超过1之后,玉米产量明显下降。

#### 5. 最佳农艺组合措施的确定

经微机计算,提出不同产量水平的最佳农艺组合方案,为预测预控玉米最佳产量提供定量分析的综合技术措施。取步长为1上

表 4

密度与氮肥交互效应对玉米产量的影响

单位: 公斤/亩

$x_2 \backslash x_1$	-2	-1	0	1	2	Y	S	OV%
-2	305.878	309.094	300.367	279.698	247.084	288.424	51.551	8.937
-1	376.569	394.692	400.871	395.107	377.400	388.927	22.472	2.889
0	406.609	439.637	460.722	469.864	467.063	448.779	52.773	5.880
1	395.994	443.928	479.919	503.965	516.070	467.975	97.519	10.419
2	344.727	407.567	458.464	497.418	524.430	446.522	143.805	16.103
Y	365.955	398.983	420.069	429.211	426.410	408.125	/	/
S	82.021	108.835	146.304	188.169	232.072	/	73.624	/
OV%	11.207	13.639	17.414	21.920	27.212	/	/	8.845

表 5

亩产 400 公斤农艺组合方案  $X_1$  取值频率分布

变 量	X <sub>1</sub>		X <sub>2</sub>		X <sub>3</sub>		X <sub>4</sub>	
	播期 日/月		密度 株/亩		氮肥 公斤/亩		磷肥 公斤/亩	
	次数	频 率	次数	频 率	次数	频 率	次数	频 率
自 变 量	- 2	57 0.1821	24 0.0767	0.0 0.000	66 0.2109			
	- 1	59 0.1885	61 0.1949	30 0.0958	72 0.2300			
	0	60 0.1917	76 0.2429	98 0.3131	74 0.2364			
	1	67 0.2141	78 0.2492	100 0.3195	62 0.1981			
	2	70 0.2236	74 0.2364	85 0.2716	39 0.1246			
合 计	313 1.000	313 1.000	313 1.000	313 1.000				
平均取值	0.109		0.374		0.767		- 0.204	
标准差 S <sub>x</sub>	0.080		0.071		0.054		0.074	
90%置信区间	- 0.023~0.241		0.258~0.490		0.678~0.856		- 0.327~0.082	
农艺措施	5 月 5 ~ 6 日		3419.3~3496.6		21.424~22.848		6.692~7.672	

机运算,可得出 625 套农艺组合方案的产量预测值,其中亩产大于 400 公斤的组合方案有 313 套,由表 5 可知,在 313 套高产方案中  $x_1$  编码值取水平时,氮肥、播期、磷肥四个变量的频率分别是 0.2716、0.2364、0.2236、0.1246,说明氮肥、密度是高产的关键,其次是播期。亩产 400 公斤的综合措施是,播期 5 月 5~6 日,密度每亩 3419.3~3496.6 株,氮肥每亩 21.4~22.5 公斤,磷肥每亩 6.7~7.7 公斤,次数占 50.8%。

亩产大于 450 公斤的农艺组合方案,播

期为 5 月 6~8 日,密度每亩 3585.6~3669.9 株,氮肥每亩为 23.1~24.8 公斤,磷肥每亩 5.9~7.2 公斤,次数占 27.5%。

#### 四、边际产量效应分析

对单变量回归子模型求一阶偏导数,分析产量随各因素水平值变化的增减速率,即各因子在不同水平下的边际产量。

各子模型的一阶偏导函数是:

$$\frac{\partial y}{\partial x_1} = 23.12 + 5.86x_1$$

$$\frac{\partial y}{\partial x_2} = 30.22 - 23.88x_2$$

$$\frac{\partial y}{\partial x_3} = 79.04 - 81.30x_3 \quad \dots\dots\dots(4)$$

$$\frac{\partial y}{\partial x_4} = 10.35 - 29.03x_4$$

将(4)式的计算结果绘成图4,从图中可看出,单因素对产量影响的速率随水平值的不同而发生变化,如 $x_3$ (氮肥)边际产量为正值,增产,但随 $x_3$ 取值水平增加,其变化速率变小,说明大量施用氮肥其增产效应越低,而 $x_2$ (密度), $x_4$ (磷肥)的边际产量效益,在取值较小时即增产,当取值增加时即减产。 $x_1$ (播期)有一定增产效应,但很平

缓,增产效应不太明显。

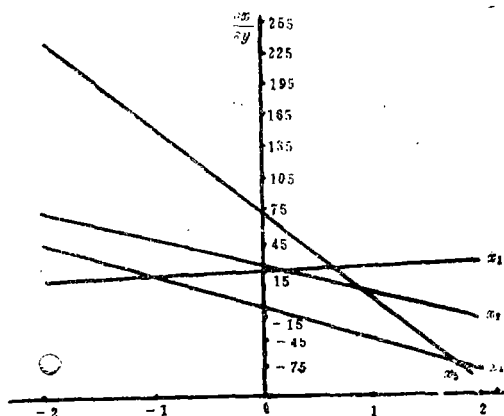


图4 各因素在不同产量水平下边际产量效应

# 防治马铃薯晚疫病的药剂试验初报

林长睿 韩福利

(黑龙江省农科院马铃薯研究所)

马铃薯晚疫病在我省经常发生,尤其是多雨潮湿年份此病发生更为严重,对不抗病的品种克新一号、克新四号、克新九号、东农303、红眼眉(Warba)、黄麻子等品种危害很大,发生轻的年份减产20~30%,发生重的年份减产40~50%。此外,它使块茎在田间、预贮期和贮藏期间发生腐烂,而且第二年用病薯作种时幼苗长势缓慢或发生烂种造成缺苗断条导致减产。此病对夏播马铃薯危害更大,一般减产50~75%,迫使不抗病的品种不能夏播用种。晚疫病是影响我省马铃薯产量提高和改善块茎品质的一个关键性问题,必须尽快研究解决。

## 一、研究内容与经过

### 1. 试验品种

注:本试验是1987年在克山县第二良种场进行的,得到该场领导、技术人员和科技小组的同志们热情帮助,在此表示感谢。

### 克新一号

### 2. 药剂品种

波尔多液、克霉灵(乙磷铝)和瑞毒霉(甲霜灵)。

### 3. 处理

①对照:不打药,喷清水,每隔10天喷一次,共喷两次。

②25%可湿性粉剂瑞毒霉液喷雾:第一次在马铃薯田个别植株出现晚疫病病斑时,用喷雾器喷800倍药液,只喷叶子的正面,不喷叶子的背面,以后相隔10天喷第二次。共喷两次。

③80%可湿性粉剂克霉灵液喷雾:第一次在马铃薯田个别植株上出现晚疫病病斑时,用喷雾器喷400倍药液,只喷叶子的正面,不喷叶子的背面,以后相隔10天喷第二