

缓慢,采取行之有效栽培技术措施促使谷子前期阶段健壮生育,对及早形成庞大根系和苗势是有积极作用的。为达此要求,我们采用壮苗指数做为衡量苗期阶段谷苗是否达到健壮程度的一个测定方法,是有其一定实用意义的。可以根据不同叶龄期壮苗指数要求,运用技术措施促其生长,为中、后期生长打下基础,是十分重要的增产依据。壮苗指数实质就是单位面积内干物质积累量之值,如何增加其干物重量则是苗期丰产长相结构的核心所在。

生长中期正处于营养生长与生殖生长之同步时期,此期发育状况对产量性状因素之形成具有极大的影响。如何考虑此期生育长相与后期产量形成的测定生理指标方法,对正确采取相应技术措施达到壮株乃至壮穗之要求,在谷田生产管理中确有十分重要的指导作用。通过研究采用谷株功能叶鞘单位长度与其干重的动态变化或以功能叶鞘含糖率变化之指标,将与后期产量结构性状有明显相关性,以此可做为预测后期产量性状的中期生长阶段壮株动态指标。

叶面积指数是衡量谷田群体叶面积的动态指标。据研究亩产 350 公斤以上谷田,5 叶期为 10,拔节期为 1.9 (不低于 1.5),穗分化期 5.9,抽穗期 9.6,灌浆期应保持在 7.0 左右,成熟前保有 1.5,这是高产谷田的叶面积指数动态指标。为达此指标要求可在各不同生育进展时期、运用有效技术措施(施种肥、早间苗、多刈趟、灌水和追施肥料等),方能达到高产结构所需指数之要求。

干物质量是不同发育时期的内在核心与外态表现的统一体,增加各不同发育时期干物质积累量则是谷子高产的关键。因此丰产谷田在各不同阶段,特别是中、后期阶段中即有较大群体光合势,又具有旺盛的净同化率,促进两者在高水平位点上同步协调发展,并使净同化率呈缓慢形式下降,更是丰产谷田的重要环节。

总之,通过几年来研究初步明确谷田前期和中期阶段群体发育与后期产量形成的有关生理指标,作为采取相适应技术对策的依据,以达到丰产预期指标要求,方能收到谷子高产之目的。

## 高粱新杂交种 706 综合农艺技术产量函数模型的研究

阴秀卿

(黑龙江省农科院作物育种所)

黑龙江省目前推广面积最大的高粱杂交种同杂二号,自 1967 年引入我省后,已种植二十余年。由于长期应用,种质已经严重退化,抗病能力减弱,据调查黑穗病率逐年增高,严重地块可达 25% 以上。叶部病害开花授粉后逐渐加重,每年 8 月份还有暴雨和五级以上大风时,发生严重倒伏,造成植株折

断,大量落粒,严重减产,有的地区减产达 30% 以上,茎秆利用率大大降低。农民迫切需要代替同杂二号的新杂交种能尽快在生产上推广应用。

黑龙江省农科院作物育种所,经过多年选择培育,于 1982 年选出配合力超同杂二号的新杂交种 706。该杂交种幼苗生长茁壮苗

期耐低温,抗叶部病害,秆强不倒伏,活秆成熟,出苗至成熟110天,茎秆高240—250厘米,中紧穗,落粒轻,子粒淀粉含量71%以上,比同杂二号出酒率高13%,是酿酒型杂交种。1983—1987年,经所内外签定,省区域试验和生产试验,均比同杂二号增产。1986、1987两年10个点次区域试验结果平均亩产386.9公斤比同杂二号增产13.6%,1987年生产试验11个点平均亩产364.7公斤,比同杂二号增产14.20%。

为摸清706高粱的最佳增产潜力,1987年在本所试验地采用良种良法相结合方法,利用最佳优化方案,制定综合农艺栽培技

术方案,获得最好的经济效益。

本文根据田间试验测得的参数,通过APPLE-Ⅱ微机,使用“旋转设计处理程序”建立产量函数模型,同时在微机上演释各因素对产量的作用,寻找706杂交种最佳农艺组合和最优化条件,为推广种植706高产和计划栽培提供科学依据。

## 一、试验设计及条件

田间试验采用二次回归正交旋转组合设计。选定的主要因素是以密度、氮肥、磷肥和钾肥为决策变量。各因素水平与编码表中肥

表1

因素水平线性编码表

因 素	零 水 平	r = 2 设计水平及线性编码					
		- 2	- 1	0	1	2	间距
X <sub>1</sub> (密度)	12株/m <sup>2</sup>	4	8	12	16	20	4
X <sub>2</sub> (尿素)	20公斤/亩	0	10	20	30	40	10
X <sub>3</sub> (三料磷)	15公斤/亩	0	7.5	15	22.5	30	7.5
X <sub>4</sub> (硫酸钾)	10公斤/亩	0	5	10	15	20	5

料量为亩施纯量:尿素含N46%,三料磷含P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>47%,硫酸钾含K<sub>2</sub>O50%。

按设计要求共设36个小区,即N=36, m<sub>0</sub>=16, m<sub>r</sub>=10, m=10,采用70厘米垅距,5行区,行长6米,小区面积21平方米。总面积756平方米。全部小区分三个正交区组,区组内随机排列。

试验地为平川黑土,地力均匀,0—30厘米耕层全氮0.118%,全磷0.098%,全钾2.56%,有机质2.26%。前茬大豆,秋翻秋耙秋起垅人工等距点播,三铲三趟。防治蚜虫一次。

## 二、试验结果与统计

根据试验结果(见表2),使用“旋转设计试验数据处理程序”,直接运算得出706高粱产量与各因素间回归模型为:

$$Y = 878.9917 + 1.4042x_1 + 63.4208x_2$$

$$+ 72.0458x_3 + 36.5625x_4 + 15.6188x_1x_2 + 8.9438x_1x_3 + 28.8938x_1x_4 - 3.6437x_2x_3 + 19.6812x_2x_4 + 24.6813x_3x_4 - 57.7573x_1x_1 - 39.7448x_2x_2 + 3.9677x_3x_3 + 1.927x_4x_4 \quad (1)$$

为了对回归方程确定实际意义,检验了模型,其结果是:

$$\begin{aligned} D(\text{zong}) &= 603582.453 & df &= 35 \\ D(\text{hui}) &= 445738.11 & df &= 14 \\ D(\text{sheng}) &= 157844.343 & df &= 21 \\ D(\text{w u}) &= 62325.9727 & df &= 11 \\ D(\text{Lf}) &= 95518.3705 & df &= 10 \end{aligned}$$

F-test

$$F_1 = 1.68581737(\text{NS})(2.85)$$

$$F_2 = 4.23586397(\times \times)(3.07)$$

通过对方程F检验表明,产量函数回归

表 2

结构矩阵与产量结果

区号	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	y	区号	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	y
1	1	1	1	1	1177.7	19	0	2	0	0	800
2	1	1	1	-1	877.9	20	0	-2	0	0	550.4
8	1	1	-1	1	793.4	21	0	0	2	0	986.7
4	1	1	-1	-1	773.4	22	0	0	-2	0	713.4
5	1	-1	1	1	860	23	0	0	0	2	863.2
6	1	-1	1	-1	720	24	0	0	0	-2	806.7
7	1	-1	-1	1	779.8	25	0	0	0	0	800
8	1	-1	-1	-1	626.2	26	0	0	0	0	800
9	-1	1	1	1	900	27	0	0	0	0	902.5
10	-1	1	1	-1	813.4	28	0	0	0	0	805.6
11	-1	1	-1	1	886.7	29	0	0	0	0	1060.1
12	-1	1	-1	-1	753.4	30	0	0	0	0	911.3
13	-1	-1	1	1	880	31	0	0	0	0	911.2
14	-1	-1	1	-1	826.7	32	0	0	0	0	938.4
15	-1	-1	-1	1	569.1	33	0	0	0	0	883.2
16	-1	-1	-1	-1	691.2	34	0	0	0	0	826.7
17	2	0	0	0	539.6	35	0	0	0	0	882.2
18	-2	0	0	0	666.7	36	0	0	0	0	826.7

模型(1)与实际情况拟合较好。试验误差的方差可取值  $\delta = 86.69$ , 进一步对回归系数进

行 F 与 t—检验, 其结果为:

b =	F(b) =	t(b) =
$b_0 = 878.9917$	0	0
$b_1 = 1.4042$	$6.3E-03$	.0793
$b_2 = 63.4208$	12.843	3.5837 ※※
$b_3 = 72.0458$	16.5737	4.0711 ※※
$b_4 = 36.5625$	4.2685	2.066 ※
$b_{12} = 15.6188$	.5193	.7206
$b_{13} = 8.9438$	.1703	.4126
$b_{14} = 28.8938$	1.7771	1.3331 ※
$b_{23} = -3.6437$	.0283	.1681
$b_{24} = 19.6812$	.8245	.908 ※
$b_{34} = 24.6813$	1.2967	1.1387 ※
$b_{11} = -57.7573$	14.2021	3.7686 ※※
$b_{22} = -39.7448$	6.7251	2.5933 ※※
$b_{33} = 3.9677$	.067	.2589
$b_{44} = .1927$	$2E-04$	.0126

对回归系数 b 进行检验看出,  $b_2, b_3, b_4, b_{14}, b_{24}, b_{34}, b_{11}, b_{22}$  在一定水平 ( $\alpha = 0.1-0.4$ ,  $\alpha = 0.01-0.05$ ) 下达到显著

或有作用。由于方程拟合较好, 在本文以后的分析中, 对变量不剔除直接用原方程(1)进行优化分析。

### 三、模型优化与解析

#### (一) 计算机寻优

求目标函数为最优解 即

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^m b_{ix}x_i + \sum_{i < j} b_{ij}x_i x_j + \sum_{j=1}^m b_{ij}x_j^2; \quad (2)$$

目标函数为非线性函数, 且约束区为:  
 $-r < x_j < r (r=2), j=1, 2, 3, 4$  内非线性规划问题。欲求极值必满足该函数对各因素一阶偏导数等于零, 即:

$$\frac{\partial y}{\partial x_i} = 0 \quad (3)$$

将回归系数代入(3)得:

$$\begin{aligned} dy/dx_1 &= 1.4042 - 115.5146x_1 + 15.6188x_2 + 8.9438x_3 + 28.8938x_4 \\ dy/dx_2 &= 63.4208 + 15.6188x_1 - 79.4896x_2 - 3.6437x_3 + 19.6812x_4 \\ dy/dx_3 &= 720458 + 8.9438x_1 - 3.6437x_2 + 7.9354x_3 + 24.6813x_4 \\ dy/dx_4 &= 36.5625 + 28.8938x_1 + 19.6812x_2 + 24.6813x_3 + .3854x_4 \end{aligned}$$

经判定系数矩阵 A 不定, 无极值 (∇ 有稳定点), 在微机上寻求最优解, 即为该品种在综合农艺措施下最大生产潜力, 亩产量最大值为:  $y(\max) = 651.14$  公斤农艺措施的决策变量为:  $x_1 = 1, x_2 = 1, x_3 = 2, x_4 = 2$ 。这个最优解是在适宜密度 (16 株/亩), 通过施肥 (尿素 30 公斤/亩, 三料磷 30 公斤/亩; 硫酸钾 20 公斤/亩) 可能达到的最高产量。但其频率较低, 我们寻求的是生产上有可行性而且考虑到出现的频率和经济效益。因此, 通过微机进行步长分析法, 令步长为 1, 产量上限定为 450 公斤, 下限 300 公斤, 全部方案有 625 个, 等于或大于 450 公斤的方案有 89 个 (见表 3)。

经步长分析看出, 706 高粱要达到亩产 450 公斤其农艺措施的变量是: 每亩保苗数 8616—9700 株, 尿素 (纯 N) 每亩 8.5—9.9 公斤, 三料磷 (纯  $P_2O_5$ ) 8.3—8.6 公斤, 硫酸钾 (纯  $K_2O$ ) 5—5.7 公斤。

#### (二) 主因素分析

为判定每个因素对产量形成的影响大

表 3 706 高粱亩产 450 公斤以上的综合农艺措施

编 码	因 素	X <sub>1</sub> (密度)		X <sub>2</sub> (尿素)		X <sub>3</sub> (三料磷)		X <sub>4</sub> (硫酸钾)	
		次 数	%	次 数	%	次 数	%	次 数	%
- 2		0	0	0	0	0	0	0	0
- 1		16	10	10	11.2	8	3.4	8	3.4
0		32	36	25	20.1	14	15.7	15	16.9
1		27	30.3	30	33.7	29	32.6	30	33.7
2		14	15.7	24	27	43	40.3	41	46.1
次数合计		89		89		89		89	
X		0.44		0.76		1.26		1.22	
SX		0.1017		0.103		0.0092		0.0095	
95% 置信区间		0.2309—0.6375		0.5621—0.9659		1.0036—1.4332		1.0493—1.4001	
农艺措施		8616.2—9700.5 (株/亩)		8.541—9.885 (公斤/亩)		8.345—8.58 (公斤/亩)		5.08—5.665 (公斤/亩)	

小, 用微机进行了主因素分析, 把方程(1)

经计算得正交变换与标准方程:

$$Y_1 = +.9511x_1 + .1943x_2 - .1502x_3 + .1873x_4$$

$$Y_2 = -.254x_1 + .9234x_2 - .2594x_3$$

$$+.1243x_4$$

$$Y_3 = -.0391x_1 + .1029x_2 + .7286x_3 + .6761x_4$$

$$Y_4 = -.1713x_1 - .3145x_2 - .6159x_3 + .7017x_4 \quad (4)$$

$$Y = 878.9917 - 23.8536Y_1 + 54.7519Y_2 + 13.3122Y_3 + 82.5082Y_4 - 62.6282Y_1Y_1 - 41.657Y_2Y_2 - 6.7376Y_3Y_3 + 17.6812Y_4Y_4 \quad (5)$$

在综合技术措施下,各因素对产量影响的顺序是:密度>氮肥>钾肥>磷肥。

在我省I、II积温带黑土地区,种植706高粱获高产,首要的是正确地决定密度,其次也要注意合理施用氮肥和钾肥磷肥。

### (三) 各因素与产量的关系

对公式(1)采用“降维法”固定其中三个因素于0和1水平,探讨一个因素和产量的关系,分别得到下列子模型:

$$Y_1 = 878.9917 + 1.4042x_1 - 57.7573x_1x_1$$

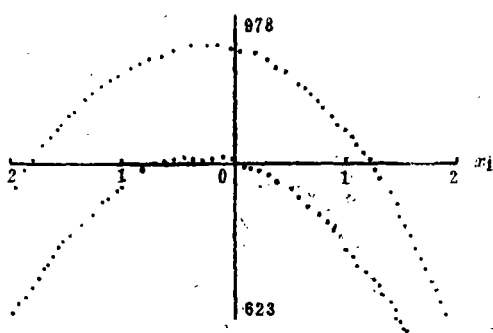


图1 密度对产量的影响

$$Y_1 = 1056.1552 + 54.8604x_1 - 57.7573x_1x_1$$

$$Y_2 = 878.9917 + 63.4208x_2 - 39.7448x_2x_2$$

$$Y_2 = 997.9261 + 95.0771x_2 - 39.7448x_2x_2$$

$$Y_3 = 878.9917 + 72.0458x_3 + 3.9677x_3x_3$$

$$Y_3 = 947.2636 + 102.0271x_3 + 3.9677x_3x_3$$

$$Y_4 = 878.9917 + 36.5625x_4 + .1927x_4x_4$$

$$Y_4 = 943.2469 + 109.8188x_4 + .1927x_4x_4 \quad (6)$$

运用“旋转设计试验数据处理程序”直接图示每个因素与产量的关系(图1,2,3,4)

从图1—4看出,密度和产量呈抛物线,

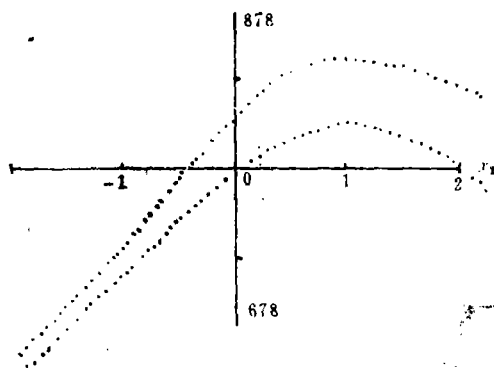


图2 氮肥对产量的影响

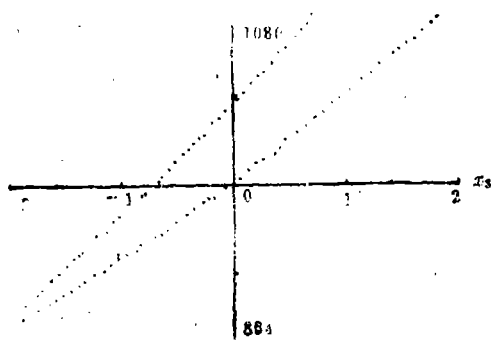


图3 钾肥对产量的影响

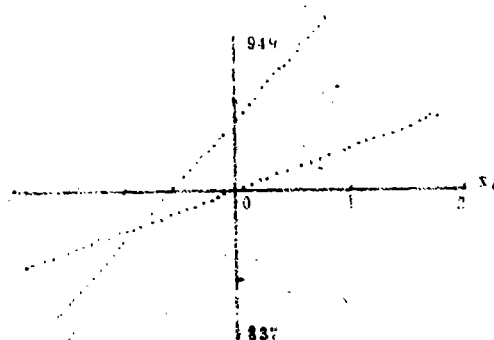


图4 磷肥对产量的影响

曲线峰点  $-1 < x_1 < 0$  水平, 密度稀时产量较低, 密度增加产量增高, 到一定限度后, 密度再增加反而减产。高粱 706 在中等肥力土壤上, 增施氮肥有明显增产效果。但超过一定限度后增产效果不明显。磷肥也有一定增产效果而钾肥虽然增产但表现波动性大。

(四) 边际产量效应

在农业经济分析时, 要探讨产量随各因素水平变化的增产速率对(6)式中各因素固定于零水平值的各模型求导:

$$\begin{aligned} \frac{dy}{dx_1} &= 1.4042 - 115.5146X_1 \\ \frac{dy}{dx_2} &= 63.4208 - 79.4896X_2 \\ \frac{dy}{dx_3} &= 72.0458 + 7.9354X_3 \\ \frac{dy}{dx_4} &= 36.5625 + 0.3854X_4 \end{aligned} \quad (7)$$

将不同编码值代入(7)式, 分别求出不同水平下每个因素的边际产量(见表4)。

将对应值绘于图5看出, 单因素对产量影响速率随水平值而变化, 有的上升有的下

表4 高粱 706 的边际产量

因素 \ 编码	- 2	- 1	0	1	2
密 度	232.43	116.92	1.40	- 114.11	- 229.63
氮肥 (尿素)	222.4	142.91	63.42	- 16.07	- 95.56
磷肥 (三料磷)	56.18	64.11	72.05	79.98	87.92
钾肥 (硫酸钾)	35.79	36.18	36.56	36.95	37.83

降。如  $X_1, X_2$  边际产量开始为正值, 随其量的增加产量下降。  $X_3$  边际产量一直是正值, 增量变化时产量逐渐增加, 而  $X_4$  比  $X_3$  增量变化较弱。

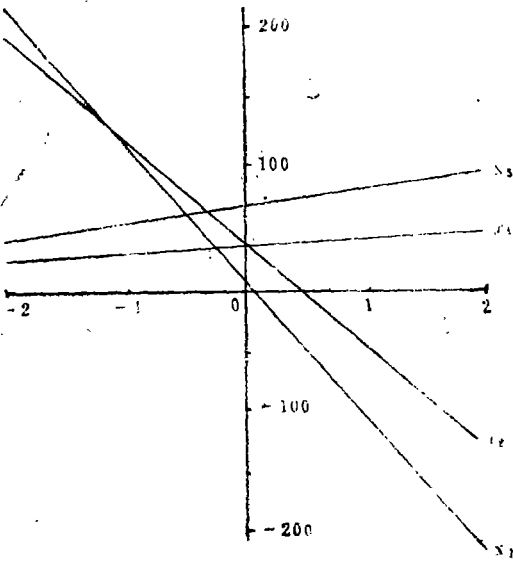


图5 各因素不同水平下的边际产量效应  
通过图5对边际产量的分析, 可以做出

经济效益的判断。706 高粱 在我省第 I、II 积温带种植密度适宜产量较高, 过密浪费种子而且减产。在施肥因素中氮肥(尿素)增产效果显著, 每亩施尿素30公斤, 每公斤尿素增产 1.46 公斤高粱, 有盈利。但每亩超过 40 公斤以上纯氮, 抵不上投入的成本。磷钾肥有促熟作用, 也有一定增产效果。但本试验中抵不上投入成本。

(五) 双因素的交互作用

根据模型(1)对二个因素交互作用显著项( $X_1X_4, X_2X_4, X_3X_4$ )进行分析, 固定其二个因素于零水平得到以下交互方程:

$$\begin{aligned} Y_{14} &= 878.9917 + 1.4042x_1 + 36.5625x_4 + 28.8938x_1x_4 - 57.7573x_1x_1 + .1927x_4x_4 \\ Y_{24} &= 878.9917 + 63.4208x_2 + 36.5625x_4 + 19.6813x_2x_4 - 39.7448x_2x_2 + .1927x_4x_4 \\ Y_{34} &= 878.9917 + 72.0458x_3 + 36.5625x_4 + 24.6813x_3x_4 + 3.9677x_3x_3 + .1927x_4x_4 \end{aligned} \quad (8)$$

x4x4

根据高粱生产需要确定有实际价值的产

量指标,使 $y$ 取不同产量值代入(8)中,可以得到等产量线图(6—8)。

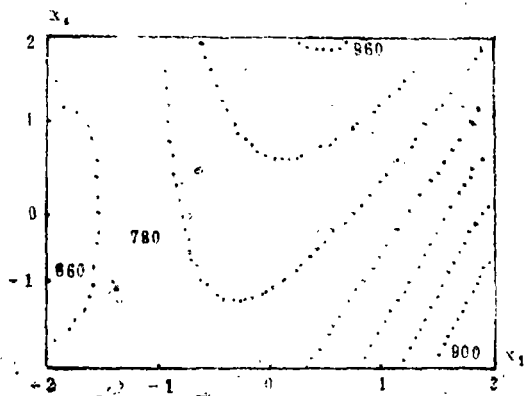


图6 密度和钾肥的作用

从图6看出:密度和钾肥与产量的关系在适宜密度下( $0 < x_1 < 1$ ),增施钾肥产量增加。密度过高时钾肥对产量效应降低。

从图7看出增施N肥的同时要施用钾对高粱增产有较明显的作用。

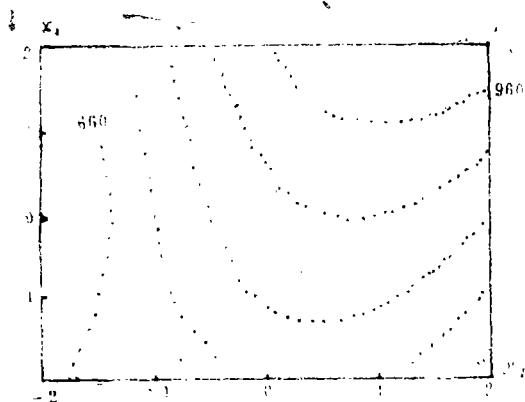


图7 氮肥和钾肥的作用

#### 四、结 论

1. 在黑龙江省第I、II积温带黑土地区中等肥力条件下,706高粱杂交种一般亩产439.5公斤,从优化方案看最高增产潜力可以达到651.14公斤。

2. 在黑土中等肥力土壤上,各综合栽培因素中对706高粱杂交种产量影响顺序是:密度>氮肥>钾肥>磷肥。

3. 706高粱杂交种亩产450公斤以上主要决策栽培因素是,每亩保苗8,600—9,700株,每亩施尿素(纯N)8.5—9.9公斤,三料磷(纯 $P_2O_5$ )8.3—8.6公斤,硫酸钾(纯 $K_2O$ )5.1—5.7公斤。

4. 在因素互作效应中,氮肥和钾肥、磷肥和钾肥的互作对产量的影响较明显。多施氮和磷肥配合施用一定量的钾肥对高粱有增产效应。

5. 通过对边际产量分析表明,在中等肥力黑土上706高粱杂交种施氮肥有明显增产效果,每亩施30公斤尿素(纯N)每公斤尿素增产高粱1.46公斤,而且有盈余。磷肥和钾肥也有一定的增产效果。

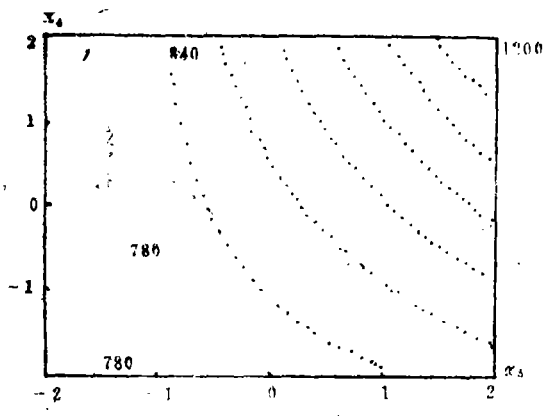


图8 磷肥和钾肥的作用

从图8看出在磷肥和钾肥的作用下,等产量线沿增施磷肥方向密集说明磷肥比钾肥对产量有较强作用。