

天津地区红小豆模式化栽培 农艺措施的研究*

牟善积 何明华 丁得亮

(天津农学院,天津 300381)

摘 要 采用五元二次正交旋转回归组合设计,利用建立生产函数模型,对影响红小豆产量的主因子及交互效应进行了分析,模拟确定了天津地区红小豆高产栽培最佳农艺组合方案。

关键词 红小豆 模式化栽培 数学模型 模拟

作物高产的创造,与单项技术手段的研究不无关系,但更多的是依靠农业技术系统的协调综合效果。为深入探讨红小豆高产栽培技术,我们在进行了影响红小豆产量的主要基础因素—氮、磷、钾、播期、密度单因子及复因子试验的基础上,于1987~1989年进行了模式化栽培高产农艺措施效应的研究,初步确定了红小豆高产栽培最佳农艺组合方案。经重复试验及1990~1991年大面积推广验证,实际产量同理论产量非常接近。

1 材料和方法

1.1 试验设计及处理

试验采用五元二次正交旋转回归组合设计,选择播期(x_1)、密度(x_2)、底施磷肥水平(x_3)、追施氮肥水平(x_4)及追氮时期(x_5)五项栽培基础措施为决策变量,每个变量确定5个水平,并进行无量纲线性编码。变量设计水平见表1。

表1 变量水平编码

变 量	间 距	水 平 编 码				
		-2	-1	0	1	2
x_1 播期(日/月)	7d	11/6	18/6	25/6	2/7	9/7
x_2 株距(cm)	3.33cm	8.33	11.67	15.00	18.33	21.66
x_3 底施磷水平(P_2O_5 kg/亩)	2.4kg/亩	0.0	2.4	4.8	7.2	9.6
x_4 追施氮水平(Nk g/亩)	1.5kg/亩	0.0	1.5	3.0	4.5	6.0
x_5 追施氮时期(日/月)	7d	22/7	29/7	5/8	12/8	19/8

采用五因素1/2实施方案,共设36个处理区,随机排列进行。小区长10m,宽3m。各小区之间均用双层塑膜间隔,垂直埋入土中30cm。相邻两小区间隔20cm。每区种植4行,行距70cm。

1.2 试验材料及概况

供试品种为选优提纯天津红小豆P85-6。不同水平的磷处理按播种行距播前一次开沟条施,深度15cm,品种为过磷酸钙, P_2O_5 含量16%,5个处理水平合过磷酸钙分别为0、15、30、45、60kg/亩。氮肥(尿素,含N46%)按不同用量和不同追肥时间的处理要求,距株行15cm处

开沟条施,深度10cm, 施肥后及时覆土。5个不同用量合尿素分别为0、3.25、6.50、9.80、13.05kg/亩。具体实施方案见表2。

表2 五元二次正交旋转回归组合设计实施方案及产量结果

小区号	x_1	x_2		x_3	x_4	x_5	产量 (kg/亩)
	播期 (日/月)	株距 (cm)	亩株数 (株/亩)	底施 P_2O_5 (株/亩)	追施纯氮 (kg/亩)	追氮期 (kg/亩)	
1	18/6	11.67	8160	2.4	1.5	12/8	147.45
2	2/7	11.67	8160	2.4	1.5	29/7	111.67
3	18/6	18.33	5190	2.4	1.5	29/7	109.45
4	2/7	18.33	5190	2.4	1.5	12/8	91.67
5	18/6	11.67	8160	2.4	4.5	29/7	141.64
6	2/7	11.67	8160	2.4	4.5	12/8	106.66
7	18/6	18.33	5190	2.4	4.5	12/8	150.57
8	2/7	18.33	5190	2.4	4.5	29/7	110.01
9	18/6	11.67	8160	7.2	4.5	12/8	157.44
10	2/7	11.67	8160	7.2	4.5	29/7	139.95
11	18/6	18.33	5190	7.2	4.5	29/7	137.79
12	2/7	18.33	5190	7.2	4.5	12/8	126.12
13	18/6	11.67	8160	7.2	1.5	29/7	177.49
14	2/7	11.67	8160	7.2	1.5	12/8	166.66
15	18/6	18.33	5190	7.2	1.5	12/8	157.74
16	2/7	18.33	5190	7.2	1.5	29/7	139.46
17	9/7	15.00	6350	4.8	3.0	5/8	86.00
18	11/6	15.00	6350	4.8	3.0	5/8	180.68
19	25/6	21.66	4390	4.8	3.0	5/8	139.53
20	25/6	8.33	11430	4.8	3.0	5/8	91.11
21	25/6	15.00	6350	9.6	3.0	5/8	143.34
22	25/6	15.00	6350	0.0	3.0	5/8	78.00
23	25/6	15.00	6350	4.8	6.0	5/8	156.00
24	25/6	15.00	6350	4.8	0.0	5/8	138.00
25	25/6	15.00	6350	4.8	3.0	19/8	158.67
26	25/6	15.00	6350	4.8	3.0	22/7	144.00
27	25/6	15.00	6350	4.8	3.0	5/8	144.67
28	25/6	15.00	6350	4.8	3.0	5/8	142.00
29	25/6	15.00	6350	4.8	3.0	5/8	153.34
30	25/6	15.00	6350	4.8	3.0	5/8	156.00
31	25/6	15.00	6350	4.8	3.0	5/8	151.34
32	25/6	15.00	6350	4.8	3.0	5/8	154.67
33	25/6	15.00	6350	4.8	3.0	5/8	144.00
34	25/6	15.00	6350	4.8	3.0	5/8	143.34
35	25/6	15.00	6350	4.8	3.0	5/8	159.34
36	25/6	15.00	6350	4.8	3.0	5/8	147.34

试验在天津市武清县石各庄乡石南村北进行,试验地质地轻壤,有机质含量1.41%,全氮0.12%,碱解氮 78×10^{-6} ,速效磷 9×10^{-6} ,速效钾 153×10^{-6} 。前茬冬小麦,前三年轮种方式为冬小麦→夏玉米→冬小麦→夏玉米,地力均匀。

主要田间管理措施:在两片真叶展平至第一复叶长出前按密度要求间苗定苗,中耕三次。7月20日防治蚜虫一次,8月15日防治锈病、白粉病一次,生长发育正常。试验期间总降雨量269.10mm,属偏早年份。

2 结果与分析

2.1 建立数学模型

由于试验是按回归分析要求布置和实施,所以确定回归数学模型如下:

$$\hat{y} = b_0 + \sum_{j=1}^p b_j x_j + \sum_{i < j} b_{ij} x_i x_j + \sum_{j=1}^p b_{jj} x_j^2 \pm Q$$

(Q 为试验误差, $p=5$)

将试验数据输入计算机,可得到5项农艺措施对亩产量的回归方程和方程中各系数(表3)。

试验设计的结构矩阵是一个正交矩阵,这样消除了偏回归系数间的相关性,故可以把第一次 F 检验不显著项从原方程中剔除,以便提高稳定性,增强预测效果。剔除项的平方和并入离回归,进行第二次方差分析(见表4)。

从表4看出,回归方程达到极显著水准,预测值与实际测得值的拟合度也达到极显著水准。回归方程中各项系数也分别达到了显著、较显著、极显著水准。由此得到对产量的优化回归方程,即产量的数学模型。

$$\begin{aligned} \hat{y} = & 148.63 - 15.70x_1 - 1.23x_2 + 15.18x_3 \\ & + 4.43x_{13} + 5.23x_{24} - 8.04x_{34} - 7.12x_2^2 - 8.28x_3^2 \end{aligned}$$

方程的随机误差:

$$Q = \sqrt{S_{\text{离}}/f_{\text{离}}} = \pm \sqrt{166.0702} = \pm 12.89$$

查 t 分布双侧分位数表,当 $df=25$ 时, $t_{0.05}=2.060$, $t_{0.01}=2.787$,则产量回归方程置信概率95%和99%的置信区域分别为:

$$-26.55 + \hat{y} \leq y \leq \hat{y} + 26.55$$

$$-35.92 + \hat{y} \leq y \leq \hat{y} + 35.92$$

表3 数学模型的信息(系数)矩阵

回归	系数	指 标
		\hat{y}
线性项	b_0	148.63
	b_1	-15.70
	b_2	-1.23
	b_3	15.18
	b_4	0.19
	b_5	2.76
交互项	b_{12}	0.68
	b_{13}	4.43
	b_{14}	-1.37
	b_{15}	-3.56
	b_{23}	-2.17
	b_{24}	5.23
	b_{25}	1.37
	b_{34}	-8.04
	b_{35}	-0.64
	b_{45}	-0.88
平方项	b_{11}	-2.61
	b_{22}	-7.12
	b_{33}	-8.28
	b_{44}	0.80
	b_{55}	1.89
SS _回		17648.49
SS _离		4151.76
SS _总		21800.25
复相关系数 R		0.8997526

表4 回归方程及回归系数的二次方差分析结果

变异来源	自由度	均 方	F 值	信度	F _{0.25}	F _{0.10}	F _{0.05}	F _{0.01}
b ₁	1	5917.33	35.63	0.01	1.39	2.92	4.24	7.17
b ₃	1	5529.47	33.30	0.01				
b ₅	1	182.99	1.10	ns				
b ₁₃	1	313.56	1.89	0.25				
b ₁₆	1	202.85	1.22	ns				
b ₂₄	1	437.12	2.63	0.25				
b ₃₄	1	1034.11	6.23	0.05				
b ₁₁	1	218.07	1.31	ns				
b ₂₂	1	1620.18	9.76	0.01				
b ₃₃	1	2192.82	13.20	0.01				
回归	10	1764.85	10.63	0.01				13
离回归	25	166.07						
总变异	35							

2.2 模型的解析

通过回归分析得出的数学模型系数矩阵,能够提供某些假设条件下的预测结果及结果的概率分布,这对于做出某些量化的决策是必要的。因此,对产量的具体效应分析如下:

(1) 主因子效应分析 采用降维法,即将四个变量的水平固定为零,导出一个变量的偏回归解析子模式,来分析单一因子的作用。对本试验有:

$$\hat{y}_1 = 148.63 - 15.70x_1$$

$$\hat{y}_2 = 148.63 - 1.23x_2 - 7.12x_2^2$$

$$\hat{y}_3 = 148.63 + 15.18x_3 - 8.28x_3^2$$

$$\hat{y}_4 = 148.63 + 0.19x_4$$

$$\hat{y}_5 = 148.63 + 2.76x_5$$

依据上列各式做成表5,将表5的单因子产量回归方程绘制成图1。

表5 降维分析各因子产量回归

变 量	水 平					备 注			
	-2	-1	0	1	2				
x ₁	180.03	164.33	148.63	132.93	117.23	x ₂ =0,	x ₃ =0,	x ₄ =0,	x ₅ =0
x ₂	122.61	142.74	148.63	133.16	117.69	x ₁ =0,	x ₃ =0,	x ₄ =0,	x ₅ =0
x ₃	85.15	125.17	148.63	155.63	145.87	x ₁ =0,	x ₂ =0,	x ₄ =0,	x ₅ =0
x ₄	148.25	148.44	148.63	148.82	149.01	x ₁ =0,	x ₂ =0,	x ₃ =0,	x ₅ =0
x ₅	143.11	145.87	148.63	151.39	154.15	x ₁ =0,	x ₂ =0,	x ₃ =0,	x ₄ =0

从表5和图1看出,5个因子中,x₁、x₄、x₅与产量呈线性关系,x₂、x₃与产量呈非线性关系。x₁在此设计范围内(-2≤x₁≤2)随着水平的增加,单因子效应曲线呈下降趋势,表明播期愈晚,产量愈低,+2与-2水平产量相差63kg。x₄、x₅在此设计范围内单因子回归曲线变化较平缓。x₂、x₃在此设计范围内单因子回归曲线出现了极值点,分别以“0”水平和“+1”水平为最佳

点,即红小豆高产农艺措施中应以株距16.5cm和底施 P_2O_5 7.2kg/亩为宜。

经无量纲线性编码代换后,偏回归系数已经标准化,可直接比较其绝对值的大小,看其对产量的影响。通过对偏回归系数绝对值大小的比较,5项农艺措施中,播期、密度、底施磷水平、追施氮水平、追氮时期对红小豆产量影响的顺序为: $x_1 > x_3 > x_5 > x_2 > x_4$ 。

(2) 交互效应分析 本试验中,五个自变量共有三组两两之间的交互效应显著,即 x_1x_3 、 x_2x_4 、 x_3x_4 。对于二元问题,同样采用降维分析法,即固定三个变量为零水平,导出另外两变量的偏回归解析子模式。对于 x_1x_3 、 x_3x_4 , 分别有:

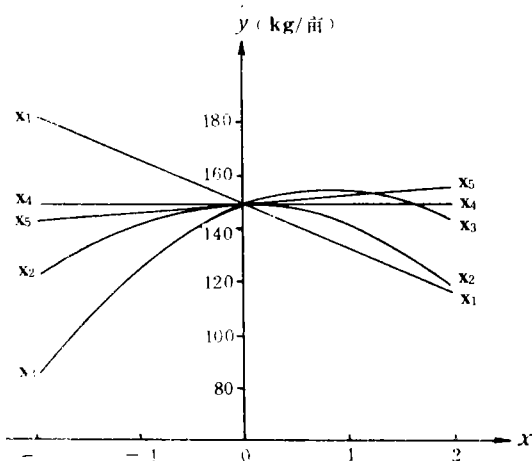


图1 各因子与产量关系

$$\hat{y}_{13} = 148.63 - 15.70x_1 + 15.18x_3 + 4.43x_1x_3 - 8.28x_3^2$$

$$\hat{y}_{34} = 148.63 + 15.18x_3 - 8.04x_3x_4 - 8.28x_3^2$$

① 播期(x_1)与底施磷水平(x_3)的交互效应分析 当 x_2, x_4, x_5 取零水平时, x_1 与 x_3 的偏回归解析子模式为:

$$\hat{y}_{13} = 148.63 - 15.70x_1 + 15.18x_3 + 4.43x_1x_3 - 8.28x_3^2$$

依据上式做成表6和图2。可以看出,在二维曲面上, \hat{y}_{13} 的最优区域落在播期(x_1)水平编码值-2~-1之间、底施 P_2O_5 (x_3) 水平编码值0~1之间。即6月11日~18日播种,底施 P_2O_5 4.8~7.2kg/亩,红小豆产量较高,可达到164~180kg/亩,变异系数较小。这两个因子对产量的影响是同等重要的。播期(x_1)都是6月11日,不施磷肥的处理产量为108kg/亩,而底施 P_2O_5 2.4kg/亩产量可达到165kg/亩,相差57kg/亩;同样底施 P_2O_5 水平(x_3) 2.4kg/亩,7月9日播种的产量只有85kg/亩,较6月11日播种相差80kg/亩,大体每晚播一周,产量减少20kg/亩。

表6 x_1 (播期)和 x_3 (底施 P_2O_5)交互效应分析结果

x_3 底施 P_2O_5 (kg/亩)	x_1 播期(日/月)					\bar{x}_3	S_{x_3}	CV (%)
	-2 (11/6)	-1 (18/6)	0 (25/6)	1 (2/7)	2 (9/7)			
-2(0)	107.69	109.71	85.15	60.59	36.03	79.83	31.57	40
-1(2.4)	165.43	145.30	125.17	105.04	84.91	125.17	31.83	25
0(4.8)	180.03	164.33	148.63	132.93	117.23	148.63	24.82	17
1(7.2)	178.07	166.80	155.53	144.26	132.99	155.53	17.82	11
2(9.6)	159.55	152.71	145.87	139.03	132.19	145.87	10.81	7
\bar{x}_1	158.15	147.77	132.07	116.37	100.67			
S_{x_1}	29.48	23.00	28.57	34.66	41.05	产量, kg/亩		
CV (%)	19	16	22	30	41			

②底施磷肥水平(x_3)与追氮水平(x_4)交互效应分析 当 x_1, x_2, x_5 取零水平时, x_3 与 x_4 的偏回归解析子模式为:

$$\hat{y}_{34} = 148.63 + 15.18x_3 - 8.04x_3x_4 - 8.28x_3^2$$

依据上式做成表7。可以看出,对红小豆产量影响的正效应出现在底磷水平(x_3)水平编码值1~2水平之间、追氮水平(x_4)水平编码值-2~-1之间。即底施 P_2O_5 7.2~9.6kg/亩,不追氮肥或少追氮肥(N1.5kg/亩),产量较高,可达到170kg/亩。这与试验地速效磷含量较低(9×10^{-6})、而碱解氮含量较高(78×10^{-6})有关。

以上各分析结果同我们1986年进行的“红小豆主要增产因素正交试验”结果是一致的。

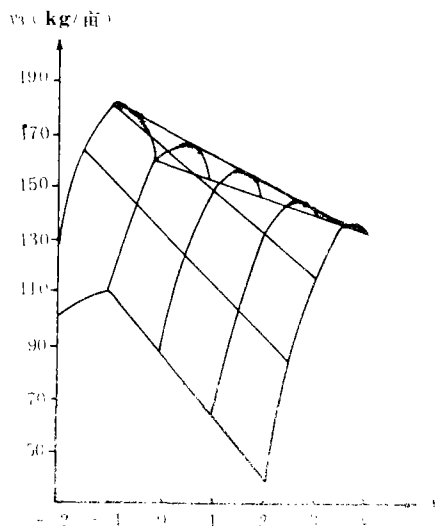


图2 播期和底施磷水平与产量的关系

表7 x_3 (底施 P_2O_5)和 x_4 (追施N)交互效应分析结果

x_4 追施N (kg/亩)	x_3 底施 P_2O_5 (kg/亩)					\bar{x}_4	Sx_4	C.V. (%)
	-2 (0)	-1 (2.4)	0 (4.8)	1 (7.2)	2 (9.6)			
-2(0)	52.99	84.25	148.63	171.61	178.03	127.10	55.60	44
-1(1.5)	69.07	92.29	148.63	165.57	161.95	127.50	43.98	34
0(3.0)	85.35	100.33	148.63	155.53	145.87	127.14	31.95	25
1(4.5)	101.43	108.37	148.63	147.49	129.79	127.14	21.77	17
2(6.0)	117.51	101.23	148.63	139.45	113.71	124.11	19.44	16
\bar{x}_3	85.27	97.29	148.63	155.93	145.87			
Sx_3	25.52	9.25	0	13.06	25.42	产量:kg/亩		
C.V.(%)	30	10	0	8	17			

3 优化农艺措施方案的探讨

根据以 x_i ($i=1,2,3,4,5$)为自变量, \hat{y} 为应变量建立的回归方程,在五因子五水平条件下的3125个组合方案,满足约束条件($-2 \leq x_1 \leq 2$),用IBM386计算机进行数学模拟运算,得到125~150kg/亩组合771个,150~175kg/亩组合471个,175~200kg/亩组合108个,分别列于表8~10。应用集合论的方法,对表8~10进行分析,即得到红小豆不同产量水平的优化农艺组合方案(见表11)。

表8 亩产125~150kg 农艺方案中自变量水平取值

水 平	x_1 播期		x_2 株距		x_3 底施 P_2O_5		x_4 追施氮		x_5 追氮时期	
	频数	频率 (%)	频数	频率 (%)	频数	频率 (%)	频数	频率 (%)	频数	频率 (%)
-2	187	24.25	104	13.49	49	6.36	107	13.88	169	21.92
-1	201	26.07	159	20.62	133	17.25	171	22.18	165	21.40
0	200	25.94	182	23.61	204	26.46	181	23.48	154	19.97
1	131	16.99	195	25.29	218	28.27	168	21.79	148	19.20
2	52	6.74	131	16.99	167	21.66	144	18.68	135	17.51
合计	771	100	771	100	771	100	771	100	771	100
\bar{x}_i 加权平均值	-0.4410		0.1167		0.4163		0.0921		-0.1102	
标准误 $S_{\bar{X}}$	0.0438		0.0465		0.0427		0.0474		0.0506	
95%置信区间	-0.53~-0.36		0.03~0.21		0.33~0.50		-0.00~0.19		-0.21~0.01	
农艺措施	21.31~22.51		16.7~17.3		5.60~6.00		2.99~3.27		3.53~4.92	
注	DF=770时 $t_{0.05}=1.96$									

表9 亩产150~175kg 农艺方案中自变量水平取值

[illegible]

表10 亩产175~200kg 农艺方案中自变量水平取值

[illegible]

表11 红小豆不同产量水平的五项优化措施组合

产量 (kg/亩)	x_1 播期 (日/月)	x_2		x_3 底施 P_2O_5 (kg/亩)	x_4 追施氮 (kg/亩)	x_5 追氮时期 (日/月)
		株距 (cm)	密度 (株/亩)			
125~150	21/6~22/6	16.7~17.3	5700~5510	5.6~6.0	3.0	4/8~5/8
150~175	18/6~19/6	16.1~16.7	5910~5700	6.0~6.6	2.3~2.7	6/8~8/8
175~200	14/6~16/6	15.0~16.2	6450~5880	6.5~7.4	1.2~2.0	13/8~15/8

4 讨论

以产量为目标函数建立的回归方程,经“R”检验和“F”检验,都达到了极显著水平,故可以用回归方程来分析和预测产量,是本地区特定条件下的定量栽培措施模型。

通过对主因子和交互因子效应分析得知,在本地区试验设计范围内,五项农艺措施中,以播期和底施磷肥的水平对产量作用最大。生产上应注意适时早播,并合理增加磷肥投入,适期巧追氮肥,一般应在始花期追完。

通过计算机模拟寻优,找出在本地区生产、生态条件下的红小豆不同产量水平的五项农艺措施组合方案:

I:亩产150~175kg:以6月18日~19日播种,行距70cm,株距16.0~16.7cm(5700~5510株/亩),底施 P_2O_5 6kg/亩以上,追施 N 2.3~2.7kg/亩,8月6日~8日追施。

II:亩产175~200kg:以6月14日~16日播种,行距70cm,株距15.0~16.2cm(5880~6300株/亩),底施 P_2O_5 7.0kg/亩左右,追施 N 1.2~2.0kg/亩,8月13日~15日追施。

搞好影响产量的基础因素的前期研究并选取合理的水平间距,是利用本研究方法的重要前提。前期研究搞得越好,因素和水平选得准,往往能取得事半功倍的效果。经过田间试验模拟寻优提出的栽培方案,认真及时地反馈、修改、示范、推广是使本研究方法具有使用价值的关键。

参 考 文 献

- 1 孟建忠. 农业系统工程. 北京,北京农业大学出版社,1986
- 2 牟善积,何明华. 磷肥对红小豆的增产作用. 土壤,1985,17(4):205~207
- 3 何明华等. 红小豆密度与产量关系的研究. 天津农林科技,1991(4):6~10
- 4 牟善积. 红小豆氮肥施用时期的研究. 天津农林科技,1992(4):12~13
- 5 牟善积,何明华. 红小豆主要增产因素正交试验结果. 华北农学报,1992,7(2):18~22
- 6 牟善积,何明华. 红小豆高产栽培技术. 作物杂志,1986(4):15~16
- 7 牟善积,何明华等. 红小豆栽培. 天津:天津科技出版社,1992,141~156

A Study on Optimum Combination of Agronomical Practices in Modeled Cultivation for High Yield of Red Bean in Tianjin Area

Mu Shanji He Minghua Ding Deliang

(Tianjin Agricultural College, Tianjin)

Abstract By use of the production function model established through quinary quadratic orthogonal regression design, the principal factors and their interaction for red bean production were analysed. In addition, the optimum combination of agronomical practices in modeled cultivation for high yield of red bean in Tianjin area was suggested.

Key wores: Red bean; Mathematical modeled cultivation; Model; Simulation