

# 豫东平原麦套棉高产栽培措施 优化决策模型的研究

刘 辉

(商丘师范高等专科学校 生物系, 河南 商丘 476000)

**摘要:** 采用五因素二次正交旋转回归设计, 研究了豫东平原麦套棉主要栽培措施与产量的关系。建立了中等以上肥力麦套棉产量形成的反应模型及最佳栽培措施组合方案, 明确了 5 项栽培措施对产量效应的主次关系与各项栽培措施间的相互作用效应。

**关键词:** 豫东平原; 麦套棉; 栽培措施; 数学模型

中图分类号: S31 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2000)01-102-06

豫东平原是黄淮海主要麦棉产区之一。近年来, 随着人口的增加, 人均耕地面积逐渐减少, 麦棉争地日益突出。为了解决这一矛盾, 达到麦棉同步高产, 经过大量的研究与应用, 逐步形成了与当地生态条件相适应的麦棉套种耕作制度<sup>[1]</sup>。1994~1996 年, 我们对麦套棉与其高产有关的 5 项栽培措施进行了正交旋转组合设计试验, 以探讨麦套棉产量与栽培措施之间的关系, 确定麦套棉生产的最优栽培措施组合方案, 给黄淮海平原区麦套棉高产定量化、规范化、模式化栽培提供科学依据<sup>[2]</sup>。

## 1 材料和方法

试验于 1994~1996 年以同一方案, 分别在商丘、虞城县试验点进行, 三年共进行六个点次。

### 1.1 试验设计

试验采用二次回归正交旋转组合设计, 按五因素 1/2 实施,  $m_c = 16$ ,  $m_r = 10$ ,  $m_o = 10$ ,  $r = \frac{2P-1}{4} = 2$ , 共设置 36 个小区<sup>[3,4]</sup>。设播期( $X_1$ )、密度( $X_2$ )、施氮量( $X_3$ )、果枝数( $X_4$ )及缩节胺( $X_5$ ) 5 个因子, 按编码值制订试验方案(表 1)。根据回归设计的要求, 为了增加试验的准确性,  $m_o$  等间距离排列,  $m_r$  和  $m_c$  则按随机原则排列, 小区面积  $40 \text{ m}^2$ 。

### 1.2 试验方法

试验地属黄潮土中砂壤和两合土, 耕层(0~20 cm)土壤的主要养分含量为: 有机质 0.85%~1.21%, 全氮 0.09%~0.12%, 碱解氮(N) 70~85 mg/kg, 速效磷( $P_2O_5$ ) 10~15 mg/kg, 速效钾( $K_2O$ ) 95~145 mg/kg, 小麦产量 4 125~5 250 kg/hm<sup>2</sup>。

收稿日期: 1998-09-15

作者简介: 刘辉, 女, 1953 年生, 副教授, 主要从事作物遗传的教学与研究工作。

表 1 试验水平及编码值

变量名称		变化 间距	变量设计水平 $r=2$				
			- 2	- 1	0	1	2
播期( $X_1$ )	( 月- 日)	5	04- 10	04- 15	04- 20	04- 25	04- 30
密度( $X_2$ )	( 千株/ $\text{hm}^2$ )	7. 5	37. 5	45. 0	52. 5	60. 0	67. 5
施氮量( $X_3$ )	( $\text{kg}/\text{hm}^2$ )	80	0	80	160	240	320
果枝数( $X_4$ )	( 个/ 株)	20	8	10	12	14	16
缩节胺( $X_5$ )	( $\text{g}/\text{hm}^2$ )	15	45	60	75	90	105

小麦播种前底施农家肥 4.5 万~ 5.2 万  $\text{kg}/\text{hm}^2$ , 过磷酸钙 750  $\text{kg}/\text{hm}^2$ , 硫酸钾 225  $\text{kg}/\text{hm}^2$ 。供试棉花品种豫棉 8 号、11 号, 采取 4- 2 式麦棉套种方式, 各处理按试验方案播种, 播后覆膜, 盛蕾期揭膜; 供试氮素化肥为尿素( 含氮量 46%), 在生长期分 3 次施入, 即底肥和蕾期各施总氮量的 1/ 4, 花铃期施总氮量的 2/ 4; 缩节胺用量分两次喷施, 即盛花期喷总量的 2/ 6, 初花期喷总量的 4/ 6, 每次加水 600  $\text{kg}/\text{hm}^2$ , 保持均匀喷洒。试验田浇水、治虫等栽培管理同一般大田。

2 结果与分析

2.1 试验结果的统计分析

将小区产量折合成每  $\text{hm}^2$  皮棉( 表 2), 应用二次回归旋转设计试验数据处理程序输入微机进行运算分析, 建立了如下麦套棉产量目标数学模型:

表 2 试验结构矩阵与产量结果

处理号	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	皮棉产量 ( $\text{kg}/\text{hm}^2$ )	处理号	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	皮棉产量 ( $\text{kg}/\text{hm}^2$ )
1	1	1	1	1	1	1 297. 5	19	0	2	0	0	0	1 327. 5
2	1	1	1	- 1	- 1	1 404. 0	20	0	- 2	0	0	0	1 267. 5
3	1	1	- 1	1	- 1	1 386. 0	21	0	0	2	0	0	1 375. 5
4	1	1	- 1	- 1	1	1 287. 0	22	0	0	- 2	0	0	1 318. 5
5	1	- 1	1	1	- 1	1 468. 5	23	0	0	0	2	0	1 381. 5
6	1	- 1	1	- 1	1	1 141. 5	24	0	0	0	- 2	0	1 300. 6
7	1	- 1	- 1	1	1	1 324. 5	25	0	0	0	0	2	1 375. 5
8	1	- 1	- 1	- 1	- 1	1 201. 5	26	0	0	0	0	- 2	1 302. 0
9	- 1	1	1	1	- 1	1 246. 5	27	0	0	0	0	0	1 486. 5
10	- 1	1	1	- 1	1	1 453. 5	28	0	0	0	0	0	1 522. 5
11	- 1	1	- 1	1	1	1 314. 0	29	0	0	0	0	0	1 482. 0
12	- 1	1	- 1	- 1	- 1	1 095. 0	30	0	0	0	0	0	1 453. 5
13	- 1	- 1	1	1	1	1 260. 0	31	0	0	0	0	0	1 476. 0
14	- 1	- 1	1	- 1	- 1	1 227. 0	32	0	0	0	0	0	1 485. 0
15	- 1	- 1	- 1	1	- 1	1 323. 0	33	0	0	0	0	0	1 462. 5
16	- 1	- 1	- 1	- 1	1	1 368. 0	34	0	0	0	0	0	1 482. 0
17	2	0	0	0	0	1 294. 5	35	0	0	0	0	0	1 465. 9
18	- 2	0	0	0	0	1 215. 0	36	0	0	0	0	0	1 473. 0

$$Y = 1476.45 + 15.95X_1 + 12.01X_2 + 13.05X_3 + 25.20X_4 + 10.05X_5 + 19.20X_1X_2 + 1.65X_1X_3 + 27.80X_1X_4 - 57.15X_3X_5 + 27.45X_2X_3 - 27.15X_2X_4 + 21.60X_2X_5 - 21.90X_3X_4 - 30.15X_3X_5 - 34.35X_4X_5 - 51.90X_1^2 - 41.25X_2^2 - 28.95X_3^2 - 30.45X_4^2 - 30.90X_5^2 \quad (1)$$

对数学模型进行方差分析可知,  $F_1 = 2.04$ , 不显著;  $F_2 = 41.52^{**}$ , 达极显著水平, 复相关系数  $R = 0.9911^{**}$ , 说明不但模型(1)与实测值拟合较好, 而且 5 项栽培措施与产量之间存在着明显的函数关系。进一步对回归系数进行  $t$  检验, 其结果仅交互项  $b_{13}$  的回归系数没达到显著水平, 其余各项回归系数均达显著水平。故本文在以后的分析中对变量不进行剔除, 而直接用模型(1)进行优化分析。

## 2.2 模型的解析与寻优

**2.2.1 最佳产量模拟寻优** 本试验产量函数为模型(1), 且为非线性函数, 是在  $-2 \leq X_i \leq 2$  的区域内的非线性规划问题, 故在微机上可求得最优解, 即在本试验条件下可获得最高产量值为  $1567.5 \text{ kg/hm}^2$ , 麦套棉最高产量栽培措施组合方案为  $X_1 = 2, X_2 = -1, X_3 = 0, X_4 = 2, X_5 = -2$ 。

对大面积生产实践来说, 上述最优解不一定代表生产意义上的最佳水平, 为了寻求各项栽培措施在生产中的可靠性, 我们采取频数分析法做进一步分析。在  $-2 \leq X_i \leq 2$  约束区间, 上机运算得到  $5^5 = 3125$  套全部组合方案, 其中大于  $1500 \text{ kg/hm}^2$  的组合方案 22 套。自变量  $X_i$  编码值区间为  $X_1 = 1.229 \sim 1.681, X_2 = -0.570 \sim$

$0.066, X_3 = -0.094 \sim 0.639, X_4 = 1.525 \sim 1.929, X_5 = -1.963 \sim -1.583$ 。即在本试验条件下, 最佳产量各  $X_i$  的取值范围是: 播期 4 月 26~28 日, 密度 48.2~52.0 千株/ $\text{hm}^2$ , 施氮量 152.5~211.1  $\text{kg/hm}^2$ , 果枝数 15~16 个/株, 喷缩节胺 45.6~51.3  $\text{g/hm}^2$ 。

**2.2.2 主因素效应分析** 从模型(1)的线性项看, 5 个因素对产量影响大小的顺序是:  $X_1$  (播期)  $> X_2$  (密度)  $> X_4$  (果枝数)  $> X_5$  (缩节胺)  $> X_3$  (施氮量)。这说明在豫东平原中上等肥力麦套棉田, 首先要重视播期的影响和作用效果, 其次是密度和果枝数的作用, 并要喷施缩节胺控制旺长, 增施氮肥促早发。

**2.2.3 单因素效应分析** 对模型(1)采用“降维法”, 即固定其它 4 个因素于 0 水平, 可得到以下 5 个一元降维偏回归模型:

$$Y_1 = 1476.45 + 15.95X_1 - 51.90X_1^2$$

$$Y_2 = 1476.45 + 12.01X_2 - 41.25X_2^2$$

$$Y_3 = 1476.45 + 13.05X_3 - 28.95X_3^2$$

$$Y_4 = 1476.45 + 25.20X_4 - 30.45X_4^2$$

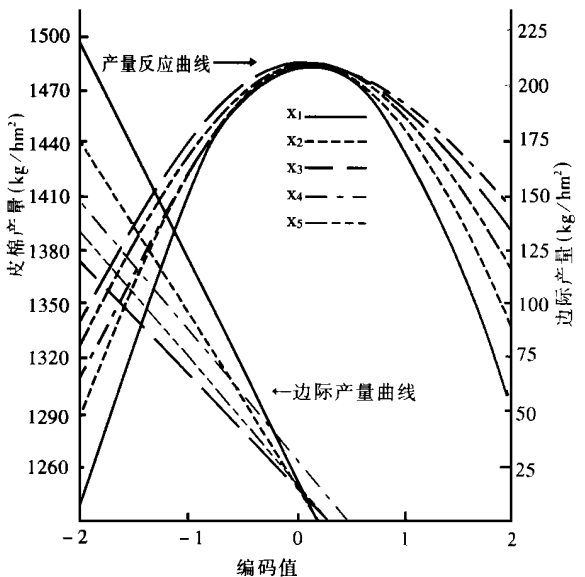


图 1 各项栽培措施的产量反应和边际产量曲线

(2)

$$Y_5= 1\,465.45+ 10.05X_5- 30.90X_5^2$$

对模型(2) 分别求导, 可得边际产量模型(3)

$$\begin{aligned} dY_1/dX_1 &= 15.95- 103.80X_1 \\ dY_2/dX_2 &= 12.01- 82.50X_2 \\ dY_3/dX_3 &= 13.05- 57.90X_3 \\ dY_4/dX_4 &= 25.20- 60.90X_4 \\ dY_5/dX_5 &= 10.05- 61.80X_5 \end{aligned} \tag{3}$$

令  $dY_i/dX_i= 0 (i= 1, 2, 3, 4, 5)$  可求出各项栽培措施的最大值。  $X_1= 0.153, X_2= 0.145, X_3= 0.226, X_4= 0.415, X_5= 0.163$ 。上述单项栽培措施的最大值与模型(1) 的最大值有差异, 这反映了单因素试验结果在生产上应用的局限性。多数试验结果只反映了定性的作用, 而棉花生产则是综合栽培措施的集中反应, 各项栽培措施的互作效应对其产量产生一定的影响。

利用模型(2) 和模型(3) 可绘出以上 5 项栽培措施的产量反应曲线和边际产量图(图 1)。从图 1 的产量反应曲线看出, 在 5 个因素中, 播期和密度的增产效应大于其它措施; 又从边际产量曲线可知, 播期和密度在- 2 水平时, 边际产量很大, 产量迅速上升, 当至 0 水平时, 边际产量也趋近于 0, 产量达到最大值, 过此以后, 边际产量也变为负值, 产量也开始下降。这说明在本试验条件下, 播期在 4 月 20 日左右时产量最高, 超过此值, 产量逐渐降低, 甚至减产。同样, 密度在 53.6 千株/hm<sup>2</sup> 时的产量最高, 密度过稀过稠都会造成减产。其它 3 项措施产量反应曲线变化平缓, 边际产量曲线的极值也较小, 说明它们的增产效应远低于播期和密度的增产效应。

2.2.4 各因素的互作效应分析 对模型(1) 进行 t 检验结果表明, 在互作项中有 9 个互作项

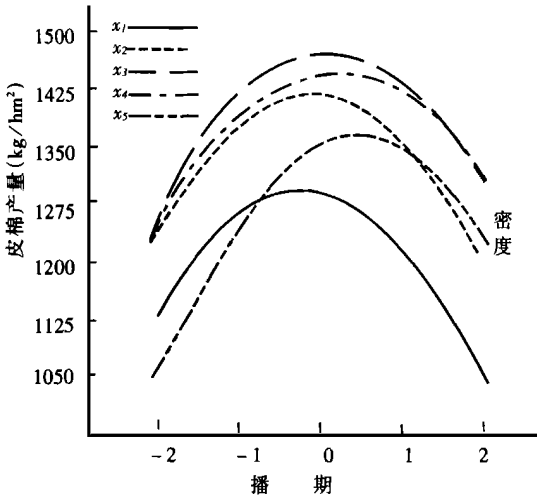


图 2 播期与密度的互作曲线

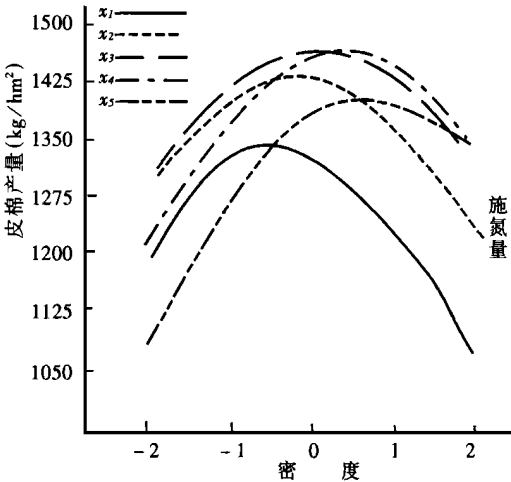


图 3 密度与施氮量的互作曲线

达到显著或极显著水平, 说明麦套棉的产量形成不仅仅是单项栽培措施的增产效应的累加, 还存在着互作效应, 本文只对其中的 4 个互作效应项进行分析。

2.2.4.1 播期与密度的互作效应 将模型(1)降维, 令  $X_3=0$ 、 $X_4=0$ 、 $X_5=0$  可得如下模型:

$$Y_{1,2}=1476.45+15.95X_1+12.20X_2+19.20X_1X_2-51.90X_1^2-41.25X_2^2 \quad (4)$$

由模型(4)可绘出播期与密度的互作曲线(图2)。由图2可知, 随着播期的推迟与密度增加, 反应曲线日渐增大, 当播期为2水平和密度为1水平时, 互作效应最大。播期为0水平, 密度为0-1水平时, 产量达到最高值。说明在麦套棉生产中, 播期稍晚和密度较大时产量较高, 如果播期较早应降低种植密度, 而播期推迟时则要适当加大种植株数。

2.2.4.2 密度与施氮量的互作效应 同样令  $X_1=0$ 、 $X_4=0$ 、 $X_5=0$  时, 模型(1)降维可得如下模型:

$$Y_{2,3}=1476.45+12.01X_2+13.05X_3+27.45X_2X_3-41.25X_2^2-28.95X_3^2 \quad (5)$$

由模型(5)可绘出密度与施氮量互作曲线(图3)。由图3可看出, 在密度为0水平左右时, 施氮量在中等或偏多水平时, 产量都很高。

### 3 结论与讨论

在本试验条件下的最佳栽培措施组合方案是: 播期4月26~28日; 密度48.2~52.0千株/ $\text{hm}^2$ ; 果枝数15~16个/株; 缩节胺用量45.6~51.3 g/ $\text{hm}^2$ ; 施氮量152.5~211.1 kg/ $\text{hm}^2$ (折尿素实物量331.5~458.9 kg/ $\text{hm}^2$ )。实施该方案可获得1500 kg/ $\text{hm}^2$ 以上的皮棉产量。

5项栽培措施对麦套棉产量影响的大小顺序是:  $X_1$ (播期) >  $X_2$ (密度) >  $X_4$ (果枝数) >  $X_5$ (缩节胺) >  $X_3$ (施氮量)。各交互项回归系数的作用方向有正有负, 说明麦套棉生产是一个复杂的技术系统。只有发挥系统的整体增产作用, 才能获得较高产量。

#### 参考文献:

- [1] 河南省农业科学院. 棉花优质高产栽培[M]. 北京: 农业出版社, 1992
- [2] 中国农业科学院棉花研究所. 中国棉花栽培学[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1983.
- [3] 谈春松, 高崇仁. 棉花生产新技术[M]. 北京: 农业出版社, 1994
- [4] 箫兵, 钟俊维. 农业多因素试验设计与统计分析[M]. 长沙: 湖南科学技术出版社, 1985.

# Studies on Optimum Model of High yield Cultivative Measure of Relaying Cotton in Wheat on the Eastern Henan Plain

LIU Hui

(Department of Biology, Shangqiu Advanced Normal School, Shangqiu 476000)

**Abstract:** The relationship between the yield of relaying cotton in wheat and the cultivate measure on the Eastern Henan plain was studied by means of the design of quadratic rotation regression on the basis of five factors, and established responsive model and optimum cultivate scheme on the middle leveled land. The interactions of the five measure and their effects on yield were also discussed.

**Key words:** Eastern Henan plain; Relaying cotton in wheat; Cultivate measure; Mathematical model