

# 乾县北塬旱地冬小麦综合农艺措施 数学模型的研究

韩思明 史俊通 谢惠民 杨春峰

## 提 要

采用五元二次正交旋转回归设计,对影响旱地小麦产量最主要的播期、播量、施氮、施磷、施油饼量五项农艺措施进行田间试验。通过微机统计分析,明确了各项农艺措施的主次作用,建立起综合农艺措施优化数学模型,筛选出该地区不同产量水平及亩产432 kg的最佳农艺措施组合方案,为黄土台塬地区旱地小麦高产优质规范化栽培提供了科学依据。

冬小麦是乾县北部塬区重要的粮食作物,播种面积大,但产量低而不稳。实践证明,在当前生产条件下,从播期、播量、施肥等主要农艺措施方面着手,优化栽培技术,是提高小麦单产、降低成本的有效途径。本试验以系统工程原理为依据,采用五因素二次正交旋转回归设计方法,研究优良品种晋麦21的综合农艺措施数学模型,选择冬小麦高产优质农艺措施最佳组合方案,为实现小麦生产规范化栽培提供科学依据。

## 一、试验设计与方法

本试验于1986—1987年度在乾县吴店乡三合村进行,试验地前茬小麦。耕层土壤0—20cm含有机质0.9%,全氮0.07%,碱解氮51ppm,速效磷10ppm;小麦生长年度(1986年6月14日到1987年6月15日)共降水560.7 mm。夏闲期与历年接近,小麦播种至翌年3月底,干旱少雨,4月以后雨量多于往年。

试验供试品种为晋麦21。选用播种期( $X_1$ )、播种量( $X_2$ )、施氮量( $X_3$ )、施磷量( $X_4$ )和施油饼量( $X_5$ )五项农艺措施为自变量,以亩产量( $Y$ )作为目标函数,采用标准五元二次正交旋转回归设计,各变量设计水平及无量纲编码值见表1。

表 1 试验因素及水平编码表

试 验 因 素	变 化 间 距	变 量 设 计 水 平 ( $r=2$ )				
		- 2	- 1	0	1	2
播 种 期 ( $x_1$ )	4 天	9月13日	9月17日	9月21日	9月25日	9月29日
播 种 量 ( $x_2$ )	5 万粒/亩	15	20	25	30	35
施 氮 量 ( $x_3$ )	2 kg/亩	4	6	8	10	12
施 磷 量 ( $x_4$ )	2 kg/亩	4	6	8	10	12
施 油 饼 量 ( $x_5$ )	15 kg/亩	20	35	50	65	80

注:氮磷用量均为纯养分量。

试验按五因素二水平  $1/2$  实施, 设36个小区, 小区面积0.03亩 ( $4 \times 5 \text{ m}^2$ ), 随机排列, 部分小区重复两次, 行长5m, 行距20cm, 各区施肥量按设计水平折算, 称重后于第一次播前结合整地分区一次施入, 播种如期按量, 用手锄开沟, 人工溜籽覆土。试验出苗均匀, 出苗率在80%以上。田间管理同一般大田。收获时去边行, 每区实收8行, 收获面积0.012亩, 脱粒晒干后称重, 并折算成亩产量。

## 二、试验结果与分析

(一) 产量结果及回归模型。试验结构矩阵及产量结果列于表2。

将表2结果用“二次回归正交旋转组合设计程序”在APPLE-II微机上回归模拟后, 得到小麦亩产量(Y)与五个因素( $X_i, i=1 \cdots 5$ )之间的回归模型为:

$$\begin{aligned} Y = & 328.4610 + 1.0475X_1 - 0.8275X_2 + 19.9008X_3 \\ & + 10.5183X_4 + 6.4325X_5 + 5.9788X_1X_2 - 4.0187X_1X_3 \\ & - 0.9412X_1X_4 + 4.1963X_1X_5 + 0.8900X_2X_3 - 2.74X_2X_4 \\ & - 3.9425X_2X_5 + 2.8775X_3X_4 + 1.5050X_3X_5 \\ & - 1.1050X_4^2 - 8.3282X_1^2 - 1.3795X_2^2 + 0.5780X_3^2 \\ & - 1.3483X_4^2 - 0.8720X_5^2 \end{aligned}$$

$$\text{回归模型的置信域为: } \begin{cases} \hat{Y} > 95\% = \hat{Y} \pm 40.76 \\ \hat{Y} > 99\% = \hat{Y} \pm 56.37 \end{cases}$$

模型建立后, 进行方差分析, 失拟平方和经F检验。结果不显著 [ $F_{\text{失拟}} = 4.43 < F_{0.01}(6, 9) = 5.80$ ], 说明二次正交旋转回归方程与实测值拟合得很好, 无其它系统因子干扰; 产量函数回归方程经F检验, 回归关系达到高度显著标准 [ $F_{\text{回归}} = 2.36 > F_{0.05}(20, 15) = 2.33$ ], 故用此模型表示产量变化过程, 进行预报具有较高的真实可靠性。

为了确定各试验因素对产量影响的大小, 经对各试验因素偏回归系数进行显著性检验, 结果表明, 一次项的 $X_3$ 、 $X_4$ 和二次项的 $X_1$ 分别达到了显著或极显著水准, 说明氮肥、磷肥和播期对产量影响较大。一次项中 $X_5$ 达到0.2水准, 说明施油饼在一定条件下对产量也有作用, 但作用能力不及氮肥、磷肥和播期。在交互项中,  $X_1X_2$ 回归系数最大且F值达到0.3水准, 说明推迟播期, 同时增加播量对产量有增效作用; 另外, 回归系数和F值较大的还有 $X_1X_3$ 、 $X_1X_5$ 和 $X_2X_5$ , 它们的符号表现为两正一负, 说明推迟播期多施氮肥或增加播量多施有机肥对产量有负效交互作用, 但是推迟播期多施有机肥则有正效交互作用。这可能与后期引起贪青晚熟或群体过大有关。

由于回归模型拟合得好, 为保留较多信息, 故直接用原模型进行优化分析。

### (二) 试验因素的产量效应分析

1. 主因素效应分析。由于计算时经过无量纲线性编码代换, 求得的偏回归系数已实现标准化, 故其绝对值大小可直接反映各变量因素对产量的影响程度。综合考虑一、二次项偏回归系数和F值, 试验中各因素对产量影响的顺序为: 氮肥 ( $X_3$ ) > 磷肥 ( $X_4$ ) > 播期 ( $X_1$ ) > 播量 ( $X_2$ ) > 施油饼 ( $X_5$ )。

表 2 试验结构矩阵及产量结果表

试验 区号	设 计 水 平					籽 粒 产 量 Y (kg/亩)
	播 种 期 X <sub>1</sub> (日/月)	播 种 量 X <sub>2</sub> (万粒/亩)	施 氮 量 X <sub>3</sub> (kg/亩)	施 磷 量 X <sub>4</sub> (kg/亩)	施 油 饼 量 X <sub>5</sub> (kg/亩)	
1	25/9	30	10	10	65	359.33
2	"	30	10	6	35	319.20
3	"	30	6	10	35	310.90
4	"	30	6	6	65	305.80
5	"	20	10	10	35	343.33
6	"	20	10	6	65	337.55
7	"	20	6	10	65	333.33
8	"	20	6	6	35	284.00
9	17/9	30	10	10	35	351.90
10	"	30	10	6	65	320.76
11	"	30	6	10	65	289.71
12	"	30	6	6	35	280.13
13	"	20	10	10	65	398.47
14	"	20	10	6	35	330.08
15	"	20	6	10	35	323.99
16	"	20	6	6	65	303.15
17	29/9	25	8	8	50	286.54
18	13/9	25	8	8	50	310.82
19	21/9	35	8	8	50	330.94
20	"	15	8	8	50	290.06
21	"	25	12	8	50	354.50
22	"	25	4	8	50	277.69
23	"	25	8	12	50	303.27
24	"	25	8	4	50	301.45
25	"	25	8	8	80	328.62
26	"	25	8	8	20	296.44
27	"	25	8	8	50	328.68
28	"	25	8	8	50	330.08
29	"	25	8	8	50	338.98
30	"	25	8	8	50	323.00
31	"	25	8	8	50	328.68
32	21/9	25	8	8	50	342.35
33	"	25	8	8	50	347.70
34	"	25	8	8	50	316.05
35	"	25	8	8	50	341.60
36	"	25	8	8	50	308.48

2. 单因素效应分析。采用降维法分析, 固定其它四个试验因素为零水平, 得到各试验因素对产量影响的一元二次回归子模型为:

$$\text{播期: } y_1 = 328.4610 + 1.0475X_1 - 8.3282X_1^2$$

$$\text{播量: } y_2 = 328.4610 - 0.8275X_2 - 1.3795X_2^2$$

$$\text{施氮: } y_3 = 328.4610 + 19.9008X_3 + 0.5780X_3^2$$

施磷： $y_4 = 328.4610 + 10.5183X_4 - 1.3483X_4^2$

施油饼： $y_5 = 328.4610 + 6.4325X_5 - 0.8720X_5^2$

根据上述不同模型，分别代入该因素不同水平值，即可获得各因素在不同水平下的产量预测值。将各试验因素在不同施用水平下产量的变化趋势绘于图1。

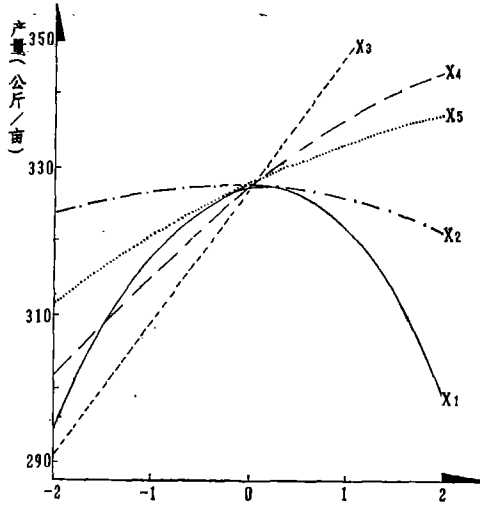


图1 各因素不同水平对小麦产量的影响

从图1可以看出，氮肥和磷肥的产量效应曲线近似直线上升趋势，其中氮肥对产量影响最大，最高产量点超出设计范围；磷肥次之，亦具同样趋势，说明土壤缺肥严重，应加强氮肥投入，并增施磷肥。播期和播量效应曲线呈典型的抛物线状，最高产量点在零水平附近，过早过晚播种或过大过小播量都会降低产量。施磷和施油饼最高产量点在2水平附近。就三种肥料而言，随着施用量增加，均表现不同程度的增产效果，但施油饼的作用较小。

**3. 单因素效应寻优。**各因素的最适投入量和单位水平投入量变化引起产量增减的速率，可以通过比较其边际产量来实现。对回归子模型求一阶偏导，将不同水平编码值代入，并令  $\frac{\partial y_i}{\partial X_i} = 0$ ，可以求得各因素在不同水平下的边际产量。其结果绘于图2。

从图2可以看出，播期对产量的效益最敏感，施磷和播量的效益依次降低，当这些因素取低水平量时，增产效益最大，取高水平值时，增产效益较低，超过最适投入量（与X轴相交处），效益出现负值。施氮的最适投入量超出设计范围，虽对产量影响最大（如图1所示），但随投入量的再增加，经济效益增长较平缓。在亩施4 kg纯氮的基础上，每增施0.5 kg纯氮，增产4.39 kg小麦；但亩施12 kg纯氮时，每增施0.5 kg纯氮，仅增产5.55 kg小麦；施氮基础提高了3倍，增产小麦仅1.16 kg。施油饼的增产效益更为有限。看来，调整适宜的播期和播量，适当增加肥料投入是比较经济实惠的农艺措施。

综上所述，单因素的最适投入量，从经济效益上考虑，播期为9月21日，播量为23.5万粒/亩，施纯氮、纯磷各12 kg/亩，施油饼80 kg/亩。

**4. 双因子交互作用效应分析。**在双因子交互作用效应中，仅有播期和播量的交互效

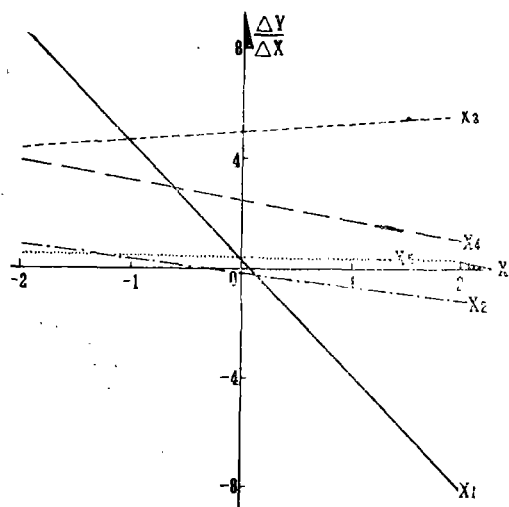
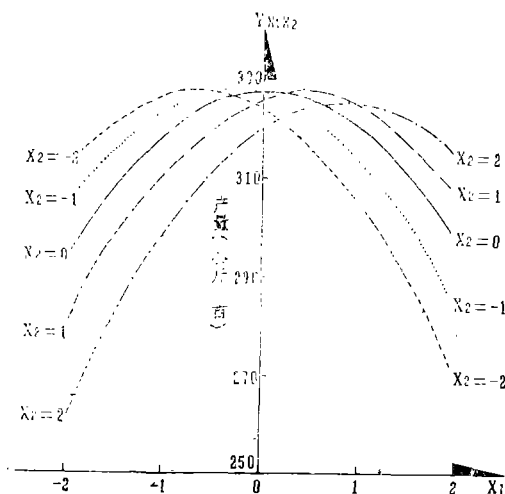


图2 各因素不同水平下的边际产量

图3 播期 ( $X_1$ ) 与播量 ( $X_2$ )  
互相作用对产量的影响

应达到0.3显著水准。它们与产量关系的模型为:

$$y = 328.4610 + 1.0475X_1 - 0.8275X_2 + 5.9788X_1X_2 - 8.3282X_1^2 - 1.3795X_2^2$$

将  $X_1$  和  $X_2$  的不同编码值代入上式, 得到不同水平下交互作用效应值, 其结果绘成图3。

从图3可以看出, 适期(9月21日)播种, 中等播量(20—30万粒/亩)可获得最佳产量; 如果偏早(9月17日)播种, 降低播量(15万粒/亩), 同样可以得到最佳产量; 但晚播(9月25日以后)时, 要获得较理想的产量结果, 则需加大播量(35万粒/亩左右)才行。

不难看出, 最高产量的适宜搭配是9月21日播种, 亩播量为25万粒。

同时, 从图3还可以发现, 在中间播期(9月17—25日)范围内, 播量大小对产量影响作用不大, 任何播量都可得到较高的产量。早于此期播种, 随播量加大而减产; 晚于此期播种, 随播量减小产量降低。

### 三、综合农艺措施模拟试验及优选

根据已建立的数学模型, 在  $-2 \leq X_1 \leq 2$  范围内, 取步长为1, 进行电子计算机模拟, 根据模拟结果, 寻求最高产量的综合农艺措施方案, 并预测不同农艺措施组合的理论产量, 以达到调节试验因素, 对产量进行人工控制和因产定技术的目的。

**1. 数学模型的最优解。**通过模拟试验, 得到了3125个试验方案, 其中最高产量为432.12kg, 相应的农艺组合措施为  $X_1 = -1$ ,  $X_2 = -2$ ,  $X_3 = 2$ ,  $X_4 = 2$ ,  $X_5 = 2$ , 即9月17日播种, 每亩下种量15万粒, 基本苗12万/亩, 施纯N12kg/亩, 纯  $P_2O_5$ 12kg/亩, 施油饼80kg/亩。可见, 适期早播, 少播量, 加上高施肥量, 是渭北旱塬晋麦21小麦良种亩产400—450kg的关键措施。但是, 由于试验和模拟过程中的随机误差影响以及大

面积实施的局限性，研究不同目标产量水平的农艺组合措施，则更有实践意义。

**2. 亩产350kg以上的综合农艺措施方案。**利用产量频数分析，求得亩产 $>350\text{kg}$ 的农艺方案有467个，将它们的编码水平值进行平均，得到其最佳农艺措施方案为9月19—21日播种，播量23.4—24.7万粒，施用纯N11.1—11.4kg/亩，纯 $\text{P}_2\text{O}_5$ 9.9—10.2kg/亩，施用油饼55.5—59.4kg/亩。

**3. 200—350kg单产范围内不同产量指标的综合农艺措施。**为了解决产量水平和经济投入不相适应的矛盾，达到低产量水平低投入，高投入获得高产量结果的目的。根据频数分析，将亩产200—350kg的2637个模拟方案按照每亩25kg的间距，提出6个产量区间相应的农艺组合措施，供生产中选，其中3个组合列举如下：

亩产200—225kg的综合农艺措施是：播种期9月17—21日，播种量24—27万粒/亩，施纯氮量4.9—5.4kg/亩，施磷5.8—7.2kg/亩，施油饼39—49kg/亩。

亩产250—275kg的综合农艺措施是：播种期9月19—21日，播种量23—25万粒/亩，施纯氮量5.8—6.4kg/亩，施磷6.6—7.2kg/亩，施油饼40—44kg/亩。

亩产300—325kg的综合农艺措施是：播种期9月21—22日，播种量25—26万粒/亩，施纯氮量8.1—8.4kg/亩，施磷7.6—8.0kg/亩，施油饼50—53kg/亩。

#### 四、小 结

1. 本试验施氮，最高产量点超出试验设计范围，其结果的应用范围受到某些限制。但在亩产300kg以下时，应用本结果是可行的。

2. 通过试验，获得了亩产200—350kg最佳农艺组合措施方案。在施肥技术方面，为了提高肥料利用率，防止贪青晚熟，应采取“一炮轰”技术，结合整地一次施入，施用油饼要经腐熟后才能应用。

3. 本试验结果是在肥力较低的田块中获得的，应用要根据地力加以区分。

（作者工作单位：西北农业大学）

#### 参 考 文 献

- [1] 陈国良等：《微机应用与农业系统模型》，陕西科学技术出版社，1985年，254—259页。
- [2] 韩思明等：“渭北旱塬冬小麦综合农艺措施数学模型研究”，《耕作与栽培》，1987年6期。
- [3] 毛文平：“旱地冬小麦丰产栽培措施数学模型的探讨”，《平凉农业科技》，1986年1期。

## **A Study on the Mathematical Model of Winter Wheat With Comprehensive Cultural Practice in North Mountainous of Qian County Rainfed Highland**

*Han Siming   Si Juntong   Xie Huimin   Yang Chunfeng*

### **Abstract**

The effects of five agronomic measures including sowing time, sowing norm, N, P fertilizer and oil cake norm application on winter wheat of dry land by orthogonal rotational regressive designed field experiments been carried out and a set of mathematical model of comprehensive cultural practice were put forward by statistical analysis with computer. From results of the experiments the optimizational scheme of agronomic measures combination in the different yield levels were selected and scientific basis for high-yield, top-quality and slandrization cultivate to winter wheat were provided in the loessal tableland area.