

黄土旱塬小麦丰产模式的研究

李 英 陈培元 蒋永罗

提 要

1984—1988年,在陕西省蒲城县设置了二组三因素五水平旋转设计试验,对影响小麦产量的施肥(包括氮肥、磷肥、有机肥)播期、播量等主要因素加以综合研究。建立了黄土旱塬地区冬小麦增产栽培措施的二个主要模式方程和多个因素之间交互作用的若干子模式方程。根据试验结果利用计算机田间模拟寻优得出该地区小麦亩产250—300kg丰产组合方案,根据这些模式方程和所得到 125×2 的不同因素相配合下的不同产量水平,因地制宜地制定秋播措施方案,用来指导生产、预测产量。

我国晋、陕、甘、宁境内的黄土高原沟壑区,分布着面积大小不等的黄土塬面,这是黄土高原重要的农业区。本区气候类型属半干旱半湿润的易旱区,由于缺乏灌溉条件,一般都实行旱作。因而水分是限制作物生长的基本因素。同时,一般土壤瘠薄,缺氮、缺磷现象相当普遍。主要作物为冬小麦,约占耕地面积的50—70%,生产水平低下,平均亩产仅100多公斤。

黄土塬区和黄土丘陵区相比,气候较为温和,日光充足,塬面开阔平坦,水土流失较轻,在整个黄土高原地区,塬区的农业增产潜力最大,有希望在近期内迅速提高生产力。但是塬地冬小麦的产量除受降水等气候因素影响外,还受多种栽培因素的影响。其中施肥、播期和密度三者对产量的关系既十分密切,相互间又往往不易统一掌握好。因此,我们在以往工作的基础上,根据系统工程的原理,利用多元回归旋转组合设计的方法,于1984—1986年进行了旱塬小麦增产模式的研究,提出主要秋播栽培措施和产量的模式关。

试验条件和方法

试验设置在陕西省蒲城县东阳乡胡家村,该地区年平均气温 13°C ,年降水533.6mm,无霜期230天,年平均日照2760小时,土壤为塬土,有机质含量0.90%,含氮0.05%,含磷0.17%,含钾1.65%。

两年试验均采用三因素五水平通用旋转组合设计。1984—1985年供试品种“丰3-189”、1985—1986年品种为“西农-772”,小区面积1/40亩,随机排列,试验编码见表(1),表中 x_1 、 x_2 、 x_3 分别代表氮、磷和有机肥(含有机质11.8%、氮0.359%、 P_2O_5 0.183%、 K_2O 2.241%)。Z₁、Z₂、Z₃分别代表播期、密度和施氮量,除氮肥外亩施有机肥2000kg, P_2O_5 3.7kg,所用肥料均作为底肥一次施入。

表1 试验因素及水平编码

年 份	因 素	零 水 平	设计水平编码				
			- 1.682	- 1	0	+ 1	+ 1.682
1983	氮 肥 x_1	5.25 kg (纯)/亩	0	2.13	5.25	8.37	10.5
	磷 肥 x_2	3.45 kg (P ₂ O ₅)/亩	0	1.40	3.45	5.50	6.9
1984	有机肥 x_3	5250 kg/亩	500	2925	5250	7625	10000
1984	播 期 z_1	17日/10月	29/10	24/10	17/10	10/10	5/10
	密 度 z_2	20万粒/亩	8.0	12.9	20.0	27.1	32.0
1985	氮 肥 z_3	4.6kg(纯)/亩	1.84	2.97	4.60	6.24	7.36

结 果 与 讨 论

(一)不同措施因素对小麦产量结果的回归方程

根据二年试验设计得到以下二组回归方程:

1. 氮、磷、有机肥对产量效应的主模式:

$$\hat{Y}_a = 264.52 + 15.37x_1 + 7.93x_2 + 9.88x_3 + 5.65x_1x_2 - 6.15x_1x_3 + 0.3x_2x_3 - 11.33x_1^2 + 2.22x_2^2 - 7.37x_3^2$$

方差分析见表 2, 实际产量和预测产量二者之间拟合度很好, 相关r = 0.9599.

表2 氮肥、磷肥、有机肥对产量的效应方差分析

变异来源	平 方 和	自 由 度	F 值
总变量(S)	41040.42	19	$F_1 = 1.568 < F_{0.05}(5,5) = 5.05$
回 归(SS)	31295.87	9	
剩 余(SR)	9744.55	10	$F_2 = 3.569 > F_{0.05}(9,10) = 3.0$
误 差(SE)	3767.89	5	
失 拟(ST)	5976.65	5	

2. 播期、密度和施氮量对产量效应的主模式:

$$\hat{Y}_a = 270.29 + 31.93z_1 + 10.22z_2 + 10.14z_3 - 3.15z_1z_2 - 1.99z_1z_3 - 1.85z_2z_3 - 3.50z_1^2 + 2.87z_2^2 - 6.70z_3^2$$

方差分析见表 3, 理论产量 \hat{Y}_a 和实产 Y_a 之间的相关系数为0.8018.

表3 播期、密度、氮肥对产量的效应方差分析

变异来源	平 方 和	自 由 度	F 值
总变量(S)	80559.68	19	$F_1 = 0.8735 < F_{0.05}(5,5) = 5.05$
回 归(SS)	68003.60	9	
剩 余(SR)	12556.08	10	$F_2 = 6.0187 > F_{0.05}(5,5) = 3.02$
误 差(SE)	6701.68	5	
失 拟(ST)	5854.10	5	

以上两个三元二次回归方程的 F_1 均不显著说明未控因素对试验数据的影响不显著,

误差是随机的, 而 F_2 均达显著水平, 说明各措施因素对产量效应的回归方程是可靠的。

(二) 主因子效应

对主因子效应采用“降维法”进行分析。将多维因子中某一因子取值, 其它因子皆取零水平, 使之变成单维因子, 以便分析取值因子的作用。

从上述两个三因素对产量效应的主方程可以分导出两组偏回归子模式方程:

1. 氮肥(x_1)、磷肥(x_2)、有机肥(x_3)

$$\hat{Y}_{ax_1} = 264.52 + 15.37x_1$$

$$\hat{Y}_{ax_2} = 264.52 + 7.93x_2$$

$$\hat{Y}_{ax_3} = 264.52 + 9.88x_3$$

2. 播期(z_1)、密度(z_2)、氮肥(z_3)

$$\hat{Y}_{az_1} = 270.29 + 31.94z_1$$

$$\hat{Y}_{az_2} = 270.29 + 10.22z_2$$

$$\hat{Y}_{az_3} = 270.29 + 10.00z_3$$

主因子经过编码代换后, 通过比较偏回归系数的绝对值可以看出, 在 $-1.682 \leq x_i \leq 1.682$ 范围内, 氮肥、磷肥和有机肥三因素对产量影响的排列顺序为氮肥>有机肥>磷肥(见图1)。播期、密度、氮肥三因素中, 播期对产量的影响最大, 氮肥和密度二者之间作用差异不大(图2)。

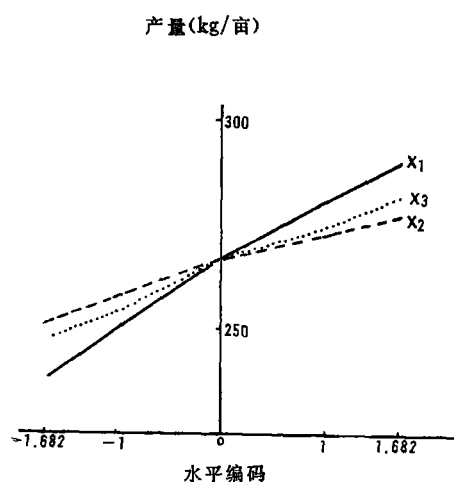


图1 氮、磷、有机肥对产量的作用
 X_1 —氮肥; X_2 —磷肥; X_3 —有机肥

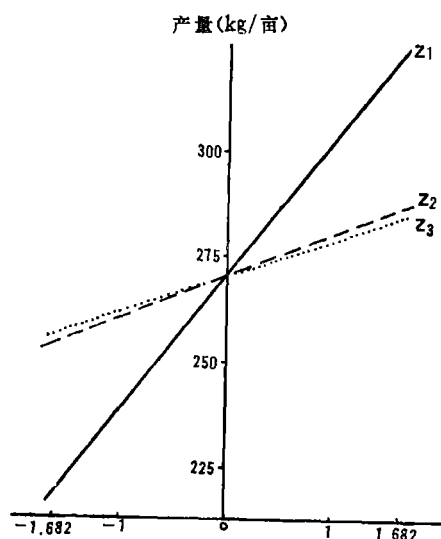


图2 播期、密度、氮肥对产量的作用
 Z_1 —播期; Z_2 —密度; Z_3 —氮肥

(三) 三因素之间交互作用

通过试验结果, 将三因素中任何一个因素固定在零水平, 来分析另外两因素之间的交互作用, 根据主体方程, 得到以下六组子模式方程(见表4), 根据子方程绘制投产线图, 以及效应曲面图(见图3、图4)。

1. 氮肥(x_1)和有机肥(x_3)交互作用:

在不同有机肥水平下, 产量随氮肥增加而增加, 以亩施纯氮7 kg产量最高, 尔后呈下降趋势(见图5)。例如, 当有机肥为零水平时(即5250 kg/亩), 以不施氮肥的产量为对照, 亩施纯氮5.25 kg和7.86 kg, 产量分别比对照增加28%和30%, 而亩施纯氮10.5 kg产量仅增加25%。有机肥对产量的效应仅次于氮肥, 以亩施0.5—0.75万 kg产量最

表4 1984—1986年二组三因素之间交互作用

因 素	零 水 平	方 程 式	产 量 范 围 kg/亩
x_1, x_2	$x_2 = 0$	$ya = 264.52 + 15.37x_1 + 9.88x_2 - 6.15x_1x_2 - 11.33x_1^2 - 7.37x_2^2$	151.8—269.5
x_1, x_2	$x_2 = 0$	$ya = 264.52 + 15.37x_1 + 7.93x_2 + 5.65x_1x_2 - 11.33x_1^2 + 2.22x_2^2$	206.6—297.1
x_1, x_2	$x_1 = 0$	$ya = 264.52 + 7.93x_2 + 9.88x_1 + 0.3x_1x_2 + 2.22x_1^2 - 7.37x_2^2$	220.9—287.7
Z_1, Z_2	$Z_2 = 0$	$ya = 270.29 + 31.93Z_1 + 10.14Z_2 - 1.99Z_1Z_2 - 3.50Z_1^2 - 6.70Z_2^2$	165.1—315.1
Z_1, Z_2	$Z_1 = 0$	$ya = 270.29 + 31.93Z_1 + 10.22Z_2 - 3.15Z_1Z_2 - 3.50Z_1^2 + 2.87Z_2^2$	188.7—330.5
Z_1, Z_2	$Z_1 = 0$	$ya = 270.29 + 10.22Z_2 + 10.14Z_1 - 1.85Z_1Z_2 + 2.87Z_1^2 - 6.70Z_2^2$	220—296.8

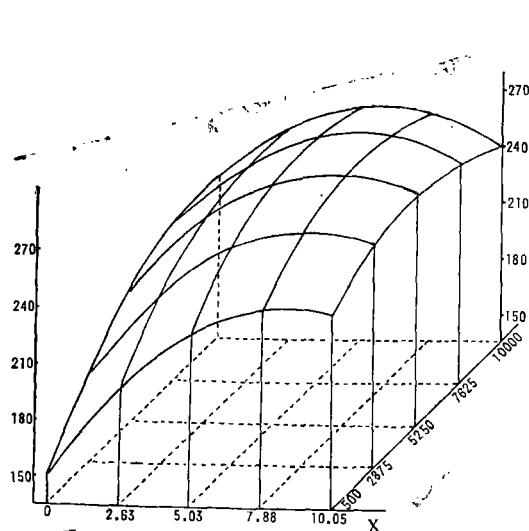


图3 播期、密度对小麦产量的效应曲面图
X—播期(日/月); Z—密度(万粒/亩)
Y—产量(kg/亩)

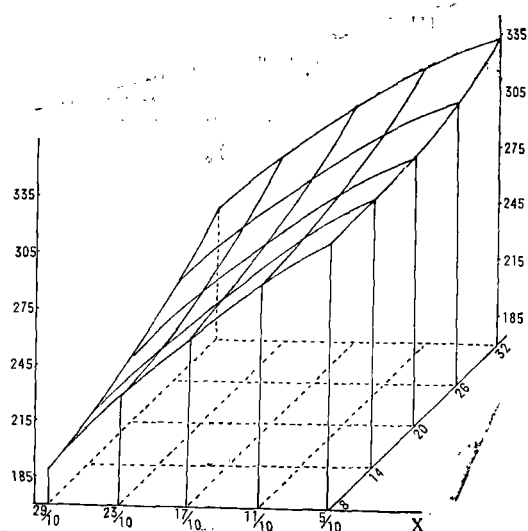


图4 氮肥、有机肥对小麦产量的曲面效应图
X—氮肥(kg/亩); Z—有机肥(kg/亩);
Y—产量(kg/亩)

高,在黄土旱塬地区,有机肥和化肥供应均不充足。因此,二者之间相互配合十分重要,盲目追求多施肥料,不但不经济,而且还可能造成减产。亩产250kg以上的氮肥和有机肥施用量,以纯N 5—7 kg有机肥0.5—0.75万kg较好。

2. 氮肥(x_1)和磷肥(x_2)之间交互作用:

在主因子分析中,磷肥虽没有氮肥和有机肥显著,但是,氮磷的配合对增产作用十分明显(见图6)。在低氮条件下,磷肥效果不明显。随着氮肥用量增加,磷肥效果越来越明显。以不施氮肥为基础,亩施6.9kg磷肥产量比不施磷肥仅相差几公斤。反过来,以亩施6.9kg磷肥为基础,亩施氮肥5.5kg、7.9kg产量比不施磷增产10.4%和16.8%。增施磷肥,可以起到以磷促氮的效果,使氮肥肥效显著,产量大幅度提高。例如在不施磷肥条件下,亩施纯氮7.9kg比不施氮肥的产量增加18%,若加施磷肥6.9kg,在同样施氮条件下,比不施氮产量增产41.3%。

3. 有机肥(x_3)和磷肥(x_2)之间交互作用:

有机肥和磷肥配合增产效果不如氮磷肥配合。亩产250kg以上,磷和有机肥配合,

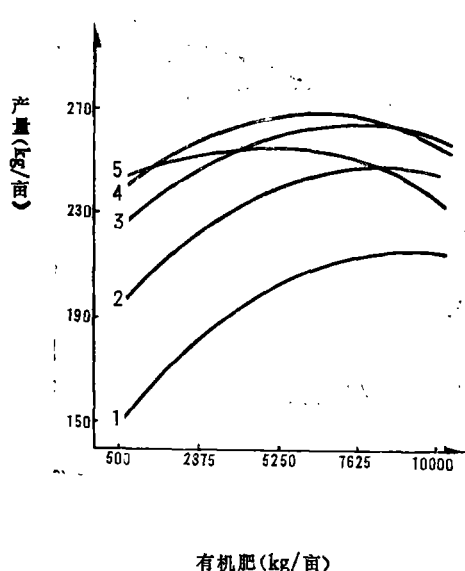


图5 不同氮肥水平下有机肥对产量的影响
N肥(kg/亩): 1—0; 2—2.13;
3—5.25; 4—8.37; 5—10.5

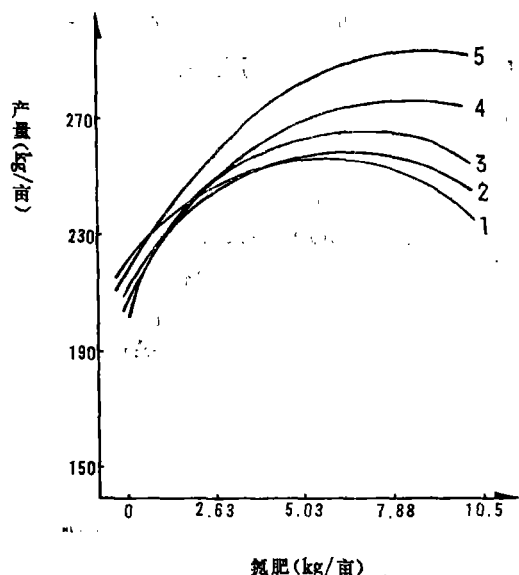


图6 不同磷肥水平下氮肥对产量的影响
P肥(kg/亩): 1—0; 2—1.40;
3—3.45; 4—5.50; 5—6.90

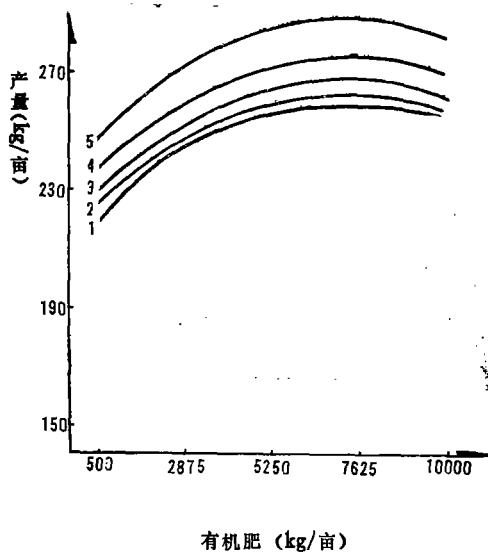


图7 不同磷肥水平下有机肥对产量的影响
P肥(kg/亩): 1—0; 2—1.40;
3—3.45; 4—5.50; 5—6.90

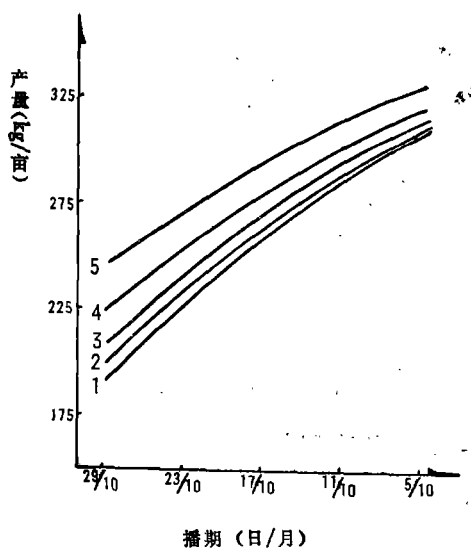


图8 不同密度条件下播期对产量的影响
密度(万数/亩): 1—8; 2—13;
3—20; 4—27; 5—32

以磷5.5—7 kg/亩, 有机肥0.5—0.75万kg/亩较好(见图7)。

4. 播期(z_1)和密度(z_2)之间交互作用:

在不同密度条件下, 适期早播能促进增产(见图8), 如10月5日播种, 五种不同密度下产量幅度为314—330.5kg/亩, 而10月29日播种产量幅度在189—241kg/亩之间。平均晚播一天, 减产4.5kg/亩, 而且随着播期推迟, 偏离适宜播期越远, 减产幅度越大,

以10月5日播种为对照,以后4个播期依次减产6.1%、13.8%、23.0%、33.76%,播期在10月5—17日之间,产量平均在250kg/亩以上,最高可达330.5kg/亩,而10月17日以后播种的产量在188.5—270kg/亩之间,平均227.9kg/亩。在试验条件下,密度的效应不及播期显著,在适时早播时密度对产量影响较小而晚播条件下,密度的影响较大。适时播种对旱地小麦十分重要,能使小麦充分利用冬前生长时间,促进根系发育,积累足够干物质,从而提高抗逆性,为丰产打好基础,是一项不需增加投入,能显著影响产量的措施。

5. 播期(z_1)和氮肥(z_3)之间交互作用:

在不同氮肥条件下,产量随播期推迟而下降,不同施肥水平均以10月5日播种的产量最高,其中亩施氮肥6kg的产量达最高,超过这个施肥水平,产量反而下降(图9)。因此,在晚播条件下,适当增加氮肥的用量是必要的,但其肥效和经济效益有所降低。

6. 密度(z_2)和氮肥(z_3)的交互作用:

密度和氮肥的交互作用小于播期和密度,也小于播期和氮肥。不同密度条件下,随着施氮量增加产量平缓增加,以亩施6kg氮肥达到最高,这和播期与施肥是一致的(图10),在不同施氮条件下,均以每亩32万粒产量高。因此要获得250kg/亩以上产量,密度应在25—32万粒之间施氮量在6—7kg/亩。

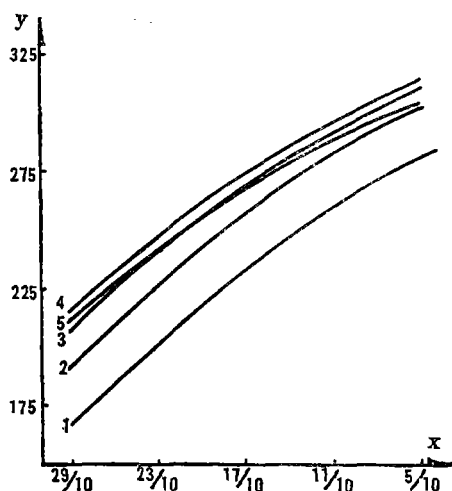


图9 不同氮肥水平下播期对产量的影响
X—播期(日/月),Y—产量(kg/亩)
N肥(kg/亩): 1—1.84; 2—2.97;
8—4.60; 4—6.24; 5—7.36

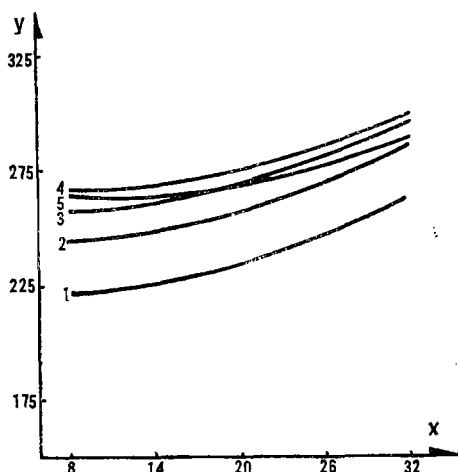


图10 不同氮肥水平下密度对产量的影响
X—密度(万粒/亩),Y—产量(kg/亩)
N肥(kg/亩): 1—1.84; 2—2.97;
8—4.60; 4—6.24; 5—7.36

(四) 计算机田间模拟寻优

将试验参数输入计算机,分别建立起以氮、磷、有机肥和播期、密度、氮肥为自变量,以亩产为因变量的两个三元二次回归方程组,对两组试验的 125×2 个组合方案进行田间模拟,结果如下:

1. 氮、磷、有机肥三因素试验的125个组合中

$\hat{Y}_a < 200$ kg/亩,有13个组合;

$\hat{Y}_a = 200—250$ kg/亩,有55个组合;

$\hat{Y}_a > 250\text{kg/亩}$, 有57个组合。

2. 播期、密度、氮肥三因素试验的125个组合中

$\hat{Y}_a < 200\text{kg/亩}$, 有13个组合;

$\hat{Y}_a = 200-250\text{kg/亩}$, 有36个组合; $\hat{Y}_a = 250-300\text{kg/亩}$, 有49个组合;

$\hat{Y}_a > 300\text{kg/亩}$, 有27个组合。

表5 施肥丰产方案统计分析

水平(x_i)	氮 肥(x_1)		磷 肥(x_2)		有 机 肥(x_3)	
编 码 值	次 数	频率(%)	次 数	频率(%)	次 数	频率(%)
-1.682			6	10.5	4	7.0
-1	17	12.3	6	10.5	10	17.5
0	18	31.6	12	21.1	14	24.6
+1	19	33.3	16	28.1	17	29.8
+1.682	13	22.8	17	29.8	12	21.1
合 计	57	100	57	100	57	100
平 均 值	0.5941		0.5025		0.3589	
标 准 误	0.1199		0.1514		0.1426	
95%置信区间	0.3543—0.8339		0.1997—0.8053		0.0737—0.6441	
丰产组合方案	6.35—7.85(kg/亩)		3.85—5.1(kg/亩)		5450—7000(kg/亩)	

表6 播期、密度、亩肥丰产方案统计分析

水平(x_i)	播 期(Z_1)		密 度(Z_2)		氮 肥(Z_3)	
编 码 值	次 数	频率(%)	次 数	频率(%)	次 数	频率(%)
-1.682			4	14.81	1	3.70
-1			4	14.81	6	22.22
0			4	14.81	7	25.93
+1	6	22.2	6	22.22	7	25.93
+1.682	21	77.8	9	33.33	6	22.22
合 计	27	100	27	100	27	100
平 均 值	1.5304		0.3856		0.3485	
标 准 误	0.0556		0.2468		0.2051	
95%置信区间	1.4163—1.6445		-0.1208—0.8920		-0.0724—0.7694	
丰产组合方案	7/10—5/10		19.1—26.3(万粒/亩)		4.5—5.85(kg/亩)	

我们将两年试验中第一年亩产高于250kg和第二年亩产高于300kg的各措施进行丰产方案的统计分析, 结果见表5和表6。比较表5和表6, 可以看出两年的施肥效果有差异。主要原因是由于1984—1985年度小麦生长期间的降水较少, 播期偏晚。

结 语

1. 根据1984—1986年两年试验结果, 利用APPLE—II微机进行数据处理、建立了黄土旱塬地区冬小麦增产栽培措施的模式关系: 播期、密度、氮肥和三种不同肥料因素

(N、P、M)对产量效应的两个主模式;多个因素之间交互作用的若干子模式方程,利用这些模式可以制定不同的措施方案,用来指导生产、预测产量。

2. 在建立子模式的基础上,对播期、密度、施肥(氮、磷、有机肥)之间相互效应作了进一步探讨,在影响旱地小麦产量的诸因素中,其影响大小的顺序为:播期>肥料≥密度和氮肥>有机肥>磷肥。

3. 根据计算机田间模拟寻优,得出该旱塬地区小麦丰产的组合方案、最适播期10月5—7日,最适播量19—26万粒/亩,最适施肥量纯氮4.5—6 kg/亩,相互配施3.5—4 kg 纯磷(P_2O_5)和有机肥5000—7500 kg/亩,有机肥用量增多、氮肥可适当减少。

4. 试验表明:氮肥和磷肥之间具有连应效应,以磷促氮,氮、磷合理配合,才能起到较好的经济效果。氮肥和有机肥之间具有互补效应。因此,合理施用肥料,才能使生产提高到一个新水平。

5. 播期、密度和施肥三因素对小麦丰产都有一个最佳幅度,对产量要求越高,幅度就越小,掌握就越困难。因此,必须根据播前底墒、地力水平,品种等具体条件来决定三者的配比组合。

农作物的丰产,受多方面因素的制约,利用数学模型提供的丰产组合方案的信息,必须再回到实践进行反馈,不断地充实,提高、完善,才能成为一个好的高产模式。

参 考 文 献

- [1] 陈培元等:旱地小麦苗期生长效应的模式研究,《陕西农业科学》,1986年第4期,第3—6页。
- [2] 黄高宝等:旱薄地谷子高产栽培综合农艺措施数学模型的研讨,《干旱地区农业研究》,1987年2期,第81—88页。

Study on Yield-Increase Model of Winter Wheat on Loess Rainfed Highland

Li Ying Chen Peiyuan Jiang Yonglou

Abstract

In 1984—1986, two field experimentals of winter wheat with 3 factors 5 levels of universal rotation design were carried out in Buchang County of Shaanxi Province.

Based on experimental results, a series of models had been established, which includes two main models: N fertilizer—P fertilizer—organic fertilizer, and sowing date—sowing rate—N fertilizer related with yield components and grain yield etc., using these models, one can know how to adopt the optimum sowing practices in autumn, to predict yield and to exam the effect of cultivation practices, so as to achieve the optimum yield increase under the different conditions.