

陇东旱地春玉米综合农艺措施 数学模型及优化模式研究

景东田 林秀峰 张军钱

(甘肃省平凉地区农技站, 744000)

摘要 应用二次回归通用旋转组合设计, 对影响玉米生产的密度、氮肥、磷肥三项主要因素进行多年多点试验, 建立陇东旱地春玉米不同生态区域及不同种植方式产量形成的函数, 并获得了不同生产水平的优化栽培方案。

关键词 春玉米 农艺措施 数学模型 旱地栽培

玉米是陇东主要粮食和饲料作物之一。由于本地区光热资源丰富, 土层深厚, 耕性良好, 加之降水基本可以满足玉米全生育期生长发育要求, 因此, 玉米生产有很大的潜力。为进一步挖掘春玉米增产潜力, 我们于 1990~1993 年在以往常规单项栽培研究的基础上, 根据系统工程的整体性原理和方法, 采用回归通用旋转组合设计, 在我区不同生态类型区域及海拔高度对不同玉米种植方式进行了多年多点综合栽培试验。从而得到陇东旱地玉米高产栽培关键措施模式, 为大面积丰产栽培提供了科学依据。

1 试验设计与方法

试验分露地玉米、地膜玉米、撮苗玉米三种不同种植形式, 按照统一设计的方案, 在不同生态类型区域及海拔高度选有代表性的试点组织实施。采用了因子与水平二次回归通用旋转组合设计, 以亩产量为目标函数, 以密度(X_1)、施氮量(X_2)和施磷量(X_3)3 项玉米生产中关键农艺措施作为决策变量(试验各因子线性编码见表 1、表 2)。试验设在当地具有代表性的田块, 共 20 个处理, 小区面积 30~40 平方米。每小区除按设计规定的项目执行外, 其余同大田生产管理。试验地地势平坦, 肥力均匀, 土壤肥力为当地中上等水平, 农肥用量同当地大田平均施用水平。露地玉

米采用人工挖穴点种, 均匀种植; 地膜玉米采用垄作宽窄行双垄沟覆盖法种植, 垄宽 66cm, 宽行 90cm, 窄行 40cm; 撮苗玉米采用垄作地膜低穴覆盖法种植, 垄距 100cm, 穴距 50~100cm(依密度不同编码水平而定), 每穴 3~6 株。衣肥和磷肥一次作底肥施入; 露地玉米、地膜玉米氮肥分底肥和大喇叭口期追肥各半两次施入, 撮苗玉米氮肥底施 1/3、拔节期大喇叭口期各追施 1/3。供试品种均为中单 2 号, 除进行双粒点种外, 同时用营养钵育苗移栽补苗, 保证了全苗。

表 1 露地玉米、地膜玉米试验各因素线性编码

因 素	变幅	设 计 水 平				
		-1.682	-1	0	1	1.682
密度 X_1 (株/亩)	892	2000	2608	3500	4392	5066
施氮量 X_2 (kg/亩)	4.16	0	2.84	7.0	11.16	14.0
施 P_2O_5 量 X_3 (kg/亩)	2.08	0	1.42	3.5	5.58	7.0

表 2 地膜撮种玉米试验各因素线性编码

因 素	变幅	设 计 水 平				
		-1.682	-1	0	1	1.682
密度 X_1 (株/亩)	1784	2000	3216	5000	6784	8000
施氮量 X_2 (kg/亩)	10.94	0	7.46	16.4	29.34	36.8
施 P_2O_5 量 X_3 (kg/亩)	7.13	0	4.87	12.0	19.13	24.0

2 试验结果及统计分析

根据各点试验结果,按回归通用旋转组合设计统计分析原理,用 PC-1500A 型电子计算机进行运算,分别建立起各点的数学模型,并对回归方程进行系统检验,在 4 年 33 个点次的试验结果中,筛选出精度合格的 27 个试验参加综合分析。年内各点间用产量的平均值建立不同生态类型区域的综合二次回归模型,年际间采用回归系数平均合并的方法进行合并。

2.1 回归模型

2.1.1 中低海拔区露地玉米(海拔 1500 米以下)

$$\hat{y} = 388.70 + 49.23x_1 + 2.16x_2 - 2.67x_3 - 11.70x_1x_2 - 4.20x_1x_3 - 9.95x_2x_3 - 7.15x_1^2 - 5.86x_2^2 - 1.97x_3^2 \pm 17.98$$

2.1.2 地膜玉米

低海拔区(海拔 1200 米左右)

$$\hat{y} = 760.99 + 68.75x_1 + 22.11x_2 + 20.87x_3 + 6.91x_1x_2 + 0.34x_1x_3 - 2.24x_2x_3 - 32.03x_1^2 - 5.93x_2^2 + 0.17x_3^2 \pm 51.97$$

中海拔区(海拔 1400~1600 米)

$$\hat{y} = 673.46 + 71.55x_1 - 16.35x_2 + 1.24x_3 + 11.90x_1x_2 + 10.03x_1x_3 + 3.37x_2x_3 - 33.48x_1^2 - 25.77x_2^2 - 25.78x_3^2 \pm 39.98$$

高海拔区(海拔 1600~1800 米)

$$\hat{y} = 526.21 + 70.40x_1 + 58.63x_2 + 28.45x_3 + 8.1x_1x_2 + 2.5x_1x_3 + 4.04x_2x_3 - 26.98x_1^2 - 24.64x_2^2 - 3.13x_3^2 \pm 39.21$$

2.1.3 撮苗玉米

低海拔东部塬区(海拔 1400 米左右)

$$\hat{y} = 724.68 + 87.69x_1 + 23.67x_2 + 18.88x_3 - 0.46x_1x_2 - 3.14x_1x_3 - 3.09x_2x_3 - 50.69x_1^2 - 8.04x_2^2 + 3.05x_3^2 \pm 49.02$$

中海拔北部塬区(海拔 1500 米左右)

$$\hat{y} = 808.34 + 62.85x_1 + 19.08x_2 + 12.84x_3 - 1.79x_1x_2 + 10.01x_1x_3 - 24.39x_2x_3 - 80.46x_1^2 - 41.50x_2^2 - 30.45x_3^2 \pm 70.39$$

高海拔西北部丘陵山区(海拔 1600~1800 米)

$$\hat{y} = 668.32 + 55.37x_1 + 55.53x_2 - 7.96x_3 + 14.93x_1x_2 + 2.53x_1x_3 + 1.58x_2x_3 - 26.87x_1^2 - 27.99x_2^2 - 6.86x_3^2 \pm 45.08$$

对上述回归方程式进行 F_1 、 F_2 和 F_3 检验, F_1 均不显著,而 F_2 和 F_3 检验都显著或极显著,说明试验因子有效地控制了产量效应,回归模型与实际情况拟合较好,具有较高的仿真精度和预报可靠性,可以指导大田生产。

2.2 模型解析与寻优

2.2.1 单因素效应分析

对产量数学模型采用降维法分析,可求得各个单因素对产量的效应,其结果如下:

密度(X_1)对产量的影响是,玉米产量随密度的增加而迅速提高,除中低海拔区露地玉米在设计范围内尚未出现峰点外,其余各偏回归数学模型均在 1 水平前后产量达到最高,继之随着密度的增加产量迅速下降。

施氮量(X_2)对产量的影响和密度对产量的影响有类似趋势,不过其效应曲线没有密度那样陡,说明施氮量对产量的效应比密度小,施氮量的最适投入量也在 1 水平左右。

施磷量(X_3)对产量的影响,一般是随施磷量的增加而增加,其产量效应曲线均呈近似直线上升趋势,其最高产量点绝大部分超出因子设计范围,但到 1 水平后产量效应曲线趋于平缓,说明施磷量达到 1 水平以后,产量趋于稳定。

2.2.2 单因素效应寻优

各因素的最适投入量和与单位投入量引起产量增减速率,通过比较其边际产量来实现,其结果是:

除高海拔区撮苗玉米密度和施氮量边际产量效应基本相同外,其余各回归模型均表现出密度对产量的影响最大,施氮量和施磷量对产量的影响依次降低。当这些因素取低水平时,增产效益大,取高水平时增产效益降低,超过最适投入量后,增加单位投入量,增

产效益出现负值。看来,采取适宜的密度,适量投入氮、磷肥料用量,是该区比较经济实惠的农艺措施。综上所述,当边际产量等于零时,投入等于产出,且产量为最高(所谓极值产量),也就是各因素的最高合理用量(所谓极值水平)(表3)。

表3 单因素效应寻优结果 单位:(千株、公斤)

主因子	露地玉米	地膜玉米			撒苗玉米		
		低	中	高	低	中	高
		因子水平					
x ₁	1.435	1.073	1.069	0.681	0.865	0.391	1.030
x ₂	0.185	1.864	0.316	1.197	1.473	0.230	0.992
x ₃	0.678	—	0.951	—	—	0.211	0.581
实际值							
x ₁	4.780	4.457	4.453	4.107	6.543	5.698	6.837
x ₂	7.770	14.450	8.310	11.98	34.51	20.92	29.25
x ₃	4.910	—	5.480	—	—	13.50	16.14

注:划横线的为超出因子设计范围

2.2.3 因子效应分析

由于二次模型除受一次项支配外,它还受二次项和交互项的影响,本文以一次项和二次项的综合作用为依据,启用函数变幅值来衡量。函数变幅值比较结果,除高海拔区撒苗玉米表现出密度 $\approx$ 施氮量 $>$ 施磷量外,其余各回归模型均表现为密度 $>$ 施氮量 $>$ 施磷量。

2.2.4 双因素交互效应分析

在各因素的交互作用中,各年各点次的情况不同。反应较明显的是密度与施氮量,其次为施氮量与施磷量间的交互作用。即合理

的密度可以提高氮肥的增产作用,反之,合理的施氮可以提高密度和施磷的增产作用。

2.2.5 数学模拟最优解

根据建立的数学模型,在模型的约束范围内,取步长为1的125个组合方案中进行模拟寻优,寻优结果见表4。

表4 根据数学模型寻优结果

露地玉米	地膜玉米			撒苗玉米			
	低	中	高	低	中	高	
	最 高 产 量						
470.37	859.68	709.95	676.61	899.44	808.34	741.89	
因 子 水 平							
x ₁	1.682	1	1	1.682	1	0	1
x ₂	0	1.682	0	1.682	1	0	1
x ₃	1.682	1.682	0	1.682	1.682	0	0
实 际 值							
x ₁	5.000	4.392	4.392	5.000	6.784	5.000	6.784
x ₂	7.0	14.0	7.0	14.0	29.34	18.40	29.34
x ₃	7.0	7.0	3.5	7.0	24.0	12.0	12.0

由表4可以看出,增加密度,保证苗全、苗齐,适量增加氮、磷化肥投入量是我区旱地玉米单产上新台阶的关键措施。

2.2.6 各级产量水平的最佳农艺措施组合

上述最高理论产量在目前条件下,大面积生产难以实现。因此,我们又根据我区目前生产条件和生产水平,用频数分析出中等偏高产量水平和高产水平的农艺措施组合(表5、表6),可供大面积参考应用。

表5 露地玉米、地膜玉米各级产量水平最佳农艺措施组合频数分析寻优结果 单位:(千株/亩、kg/亩)

露地玉米	地 膜 玉 米							
	低 海 拔 区		中 海 拔 区		高 海 拔 区			
	中高产	高 产	中高产	高 产	中高产	高 产	中高产	高 产
	350~450	≥ 450	500~700	产 量 ≥ 700	500~650	≥ 650	500~600	≥ 600
因 子 水 平								
x ₁	0.46~0.83	1.68~6.68	-1.37~0.92	0.56~0.93	0.15~0.63	0.77~1.27	0.49~1.06	0.91~1.44
x ₂	-0.54~0.39	-0.05~0.55	-0.59~0.13	-0.10~0.44	-0.44~0.19	-0.38~0.21	0.24~0.85	0.91~1.44
x ₃	-0.38~0.26	-0.34~0.44	-0.63~0.04	-0.07~0.48	-0.37~0.25	-0.17~0.55	-0.53~0.30	0.75~1.43
实 际 值								
x ₁	3.91~4.24	5.00~5.00	2.28~2.68	4.00~4.33	3.63~4.06	4.19~4.63	3.94~4.44	4.31~4.79
x ₂	4.74~5.39	6.80~9.29	4.55~7.53	6.59~8.81	5.18~7.79	5.42~7.86	7.99~10.55	10.77~12.99
x ₃	2.72~4.04	2.78~4.42	2.20~3.58	3.36~4.31	2.72~4.01	3.15~4.64	2.39~4.13	5.07~6.47

表6 撮苗玉米各级产量水平最佳农艺措施组合频数分析寻优结果 单位:(kg/亩、千株/亩)

	低海拔区		中海拔区		高海拔区	
	中高产	高产	中高产	高产	中高产	高产
	产 量 指 标					
	600~800	≥800	600~750	≥750	600~700	≥700
	因 子 水 平					
x_1	0.16~0.66	0.74~1.14	0.01~0.56	0.29~0.77	0.00~0.54	1.19~1.49
x_2	-0.49~0.11	0.54~1.17	-0.22~0.40	-0.24~0.48	0.04~0.56	1.19~1.49
x_3	-0.47~0.12	0.28~1.14	-0.30~0.37	-0.18~0.62	-0.56~0.18	-0.54~0.54
	实 际 值					
x_1	5.28~6.18	6.31~7.04	5.02~5.99	5.52~6.37	5.01~5.97	7.13~7.66
x_2	13.01~19.61	24.25~31.18	15.97~22.82	15.75~23.63	18.82~24.55	31.44~34.71
x_3	8.67~12.83	14.03~20.09	9.84~14.62	10.69~16.40	8.04~13.32	8.13~15.87

3 小结与讨论

3.1 本文应用二次回归通用旋转组合设计和电子计算机研究优选得出的7个旱地玉米综合农艺措施回归方程F检验值均达显著或极显著水准,说明试验误差较小,该回归方程在本试验条件下,作为旱地玉米栽培措施的数学模型是可信的,并可用于较大范围的措施预报。通过产量频数分析,提出的优化栽培方案基本落在-1和+1之间,说明设计合理,精度可靠,此方案可在同类地区推广应用。

3.2 本文应用了“函数变幅”指标,避免了仅根据一次项或二次项系数决定因子效应的片面性。函数变幅值比较结果,三因子对玉米产量影响大小的顺序是,除撮苗玉米高海拔区表现为密度~施氮量>施磷量外,其余各不同生态类型区域及不同种植方式均表现为密度>施氮量>施磷量。

3.3 根据建立的数学模型,对3因子5水平通用旋转组合设计的125个组合方案按不同产量全面优选得出:

露地玉米亩产350~450公斤的中高产组合64个,占模拟组合总数的51.2%,亩产大于450公斤的高产组合13个,占模拟组合

总数的10.4%。

地膜玉米低海拔区亩产500~700公斤的中高产组合48个,占38.4%,亩产大于700公斤的高产组合76个,占60.8%;中海拔区亩产500~650公斤的高产组合68个,占54.4%,亩产大于650公斤的高产组合23个,占18.4%;高海拔区亩产500~600公斤的中高产组合32个,占25.6%,亩产大于600公斤的高产组合16个,占12.8%。

撮苗玉米低海拔区亩产600~800公斤的中高产组合82个,占65.6%,亩产大于800公斤的高产组合32个,占25.6%;中海拔区亩产600~750公斤的中高产组合52个,占41.6%,亩产大于750公斤的高产组合17个,占13.6%;高海拔区亩产600~700公斤的中高产组合38个,占30.4%,亩产大于700公斤的高产组合20个,占16.0%。

以上说明所选区间比较可靠,接近或超过本试验的平均产量水平。结合我区旱地玉米生产实际,并根据地力水平和生产条件,分别选出了不同生态类型区域及不同种植方式中高产或高产水平比较经济的栽培模式(表5、表6),以供该区不同类型区域在旱地玉米生产中推广应用。