

秦巴高海拔山区春玉米高产高效施肥技术研究

薛吉全¹, 马国胜¹, 路海东¹, 崔 鸣², 李运方³, 刘厚群⁴

(1. 西北农林科技大学, 陕西 杨陵 712100; 2. 安康市植保站, 陕西 安康 725000;

3. 宁陕县农技中心, 陕西 宁陕 711600; 4. 汉滨区农技中心, 陕西 安康 725000)

[摘 要] 通过在秦巴高海拔春玉米山区 2 个海拔条件下(海拔分别 1 300 m 和 1 050 m 进行氮磷二因素二次饱和 D-最优设计试验, 建立了高海拔山区春玉米高产高效产量和效益模型, 并对模型进行了多目标解析, 明确了氮磷 2 因素对产量的主效应和互作效应大小, 确定了不同地点春玉米最高产量施肥量、经济施肥量、合理施肥区、最佳配比、高产施肥模式、高效低耗施肥模式和高产高效施肥模式。

[关键词] 秦巴山区; 春玉米; 高产高效; 回归分析

[中图分类号] S 513.062

[文献标识码] A

Study on High Yield and High Efficiency Fertilization Techniques of Spring Maize in High Elevation Areas of Qinba Mountain

XUE Ji-quan¹, MA Guo-sheng¹, LU Hai-dong¹, CUI Ming², LI Yun-fang³, LIU Hou-qun⁴

(1. Northwest Sci - Tech University of Agricultural and Forestry, Yangling Shaanxi 712100;

2. Station of Plant Protection and Epidemic, Ankang City, Shaanxi 725000;

3. Center of Agricultural and Technology, Ningshan County, Shaanxi 711600;

4. Center of Agricultural and Technology, Hanbin Borough, Ankang City, Shaanxi 725000, China)

Abstract: By two factor and two frequency saturation D - optimization design test about nitrogen and phosphorus with different elevation condition (Elevation is 1 300 meters and 1 050 meters) in high elevation spring maize areas of Qinba mountain. The benefit model of high yield and high efficiency in spring maize areas of hih elevation mountain were established in this paper. Through analysis into the model in multiple respects, the main effects and the interactive effects of nitrogen and phosphate on yield are achieved. High yield fertilization number, efficiency fertilization number, reasonable fertilization confine, optimal partnership, the high yield fertilization model, the high efficiency and low consume fertilization model, high yield, and high efficiency fertilization model of spring maize in different areas were elicited.

Key word: Qinba mountain; Sprmg maize; High yield and high efficiency; Regression analysis

玉米是秦巴山区高海拔地区群众的主要食物来源, 对解决当地群众温饱起着十分重要的作用。该区生态条件复杂, 地力差异较大, 目前肥料施用量不足、配置不当是玉米产量提高的主要限制因素。为了达到良种良法配套, 明确高海拔山区不同海拔高度条件下, 不同产量水平的氮磷肥最适施用量, 最高产量的施用量, 最大利润的施肥量及高产高效施肥

模式, 我们进行了氮磷肥料施用量试验, 旨在为高海拔地区春玉米高产栽培提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试品种

陕单 902。

1.2 试验地点

宁陕县旬阳坝镇七里沟村, 海拔 1 300 m; 汉滨区叶坪镇双桥村, 海拔 1 050 m。

1.3 试验设计

采用二次饱和 D-最优设计, 共 6 个处理, 试验的零水平及变化间距列于表 1, 试验处理编码值列

[收稿日期] 2002-03-15

[作者简介] 薛吉全(1964 -), 男, 西北农林科技大学农学院副院长、副研究员, 主要从事玉米高产栽培和栽培生理研究。

[基金项目] 中国秦巴山区扶贫世界银行贷款实用技术研究项目 (Shaanxi-K02)。

于表 2。

试验地前茬为玉米,小区面积为 23.3 m²,6 行区,重复 2 次,随机排列,采用地膜覆盖,宁陕、汉滨分别于 4 月 9 日、4 月 13 日播种,种植密度为 60 000 株/hm²,按处理 40%氮肥和全部磷肥作为基肥播种时每隔沟施入。60%氮肥在拔节期作为追肥施入,其

表 2 各处理编码及产量汇总

处 理	编码值		处理(kg/hm ²)		产量(kg/hm ²)					
	X ₁ (N)	X ₂ (P ₂ O ₅)	N	P ₂ O ₅	宁 陕			汉 滨		
					I	II	平均	I	II	平均
1	-1	-1	0	0	4 290.0	3 787.5	4 039.5	4 071.0	3 607.5	3 839.3
2	1	-1	600.00	0	7 671.0	7 290.0	7 480.5	6 454.5	6 042.0	6 248.3
3	-1	1	0	180.00	5 293.5	5 593.5	5 443.5	5 875.5	6 084.0	5 979.8
4	-0.135 0	-0.135 0	200.55	78.15	8 866.5	8 569.5	8 718.0	8 223.0	7 899.0	8 061.0
5	1	0.394 4	600	125.55	7 170.0	7 791.0	7 480.5	7 123.5	7 230.0	7 176.8
6	0.394 4	1	418.35	180.00	8 469.0	8 737.5	8 603.3	7 759.5	7 638.0	7 698.8

2 结果与分析

2.1 产量目标函数的建立

将试验所得数据,运用 LNT 软件包进行计算处理,建立氮肥(X₁)和磷肥(X₂)2 个因素与产量的关系模型。

$$y = b_0 + \sum_{j=1}^m b_{1j}x_j + \sum_{i<j} b_{ij}x_{ij} + \sum_{j=1}^m b_{ij}x_j^2$$

分别对性状进行模拟,得出氮磷肥料 2 个因子产量的回归方程为:

宁陕点:

$$y_{\text{宁陕}} = 8\,975.4 + 1\,225.95X_1 + 207.63X_2 - 2\,534.07X_1^2 - 474.08X_2^2 - 494.73X_1X_2 (F = 66.43) \quad (1)$$

汉滨点:

$$y_{\text{汉滨}} = 8\,291.11 + 701.24X_1 + 574.5X_2 - 1\,690.97X_1^2 - 981.92X_2^2 - 503.25X_1X_2 (F = 85.61) \quad (2)$$

对回归方程进行模拟性 F 检验可知,两点 F 值均大于 F_{0.05},达到极显著水平,说明产量目标函数回归方程与实际情况模拟较好,模型回归系数结果列于表 3,宁陕点氮肥(X₁)一次项、二次项回归系数达到极显著水平,氮肥(X₁)和磷肥(X₂)的交互作用达到显著水平,汉滨点各回归系数均达到极显著水平。

表 3 回归系数的显著性检验

回归系数	t 值		t _{0.05}	t _{0.01}
	宁陕	汉滨		
b ₁	7.261 9**	5.704 0**	2.45	3.71
b ₂	1.229 8	4.673 0**		
b ₁₁	7.283 8**	6.675 6**		
b ₂₂	1.360 0	3.876 4**		
b _{1b2}	2.599 0*	3.631 3**		

* 和 ** 分别为 0.05 和 0.01 显著水平。

2.2 模型的解析与优化

2.2.1 主效因子分析

所得数学模型已经过无量纲编码值代换,偏回归系数已标准化,各因素对产量的影响可从偏回归

余管理同一般大田,收获时考种计产。

表 1 各因子的零水平及变化间距

项 目	氮(X ₁)kg/hm ²	磷(X ₂)kg/hm ²
零水平(X _{0j})	300	90
变化间距(Δ _{0j})	300	90

系数绝对值对比中看出,当考虑二次项效应时,采用降维法,固定其中一个因素为零水平,可得到另一因素与产量的回归模型。

宁陕点:
$$\begin{cases} y_1 = 8\,975.4 + 1\,225.95X_1 - 2\,534.07X_1^2 \\ y_2 = 8\,975.4 + 207.63X_2 - 474.08X_2^2 \end{cases} \quad (3)$$

汉滨点:
$$\begin{cases} y_1 = 8\,291.11 + 701.24X_1 - 1\,690.97X_1^2 \\ y_2 = 8\,291.11 + 574.5X_2 - 981.92X_2^2 \end{cases} \quad (4)$$

根据模型(3)、(4)、令 X_i 分别取值为 -1, -0.135, 0, 0.394 4, 1,求得各试验点产量估计值平均数、标准差和变异系数(表 4),从模型(3)、(4)一次项偏回归系数和表 4 的平均数、标准差和变异系数的变化可知,两试验点各因素对产量影响的大小顺序均为::氮肥>磷肥。说明在高海拔地区春玉米保证足量的氮肥是获得高产的基础。

2.2.2 交互效应分析

各因素对产量目标函数的影响都不是单独的,从回归系数的显著性检验可知交互项均达到显著水平,说明 X₁ 与 X₂ 存在交互效应。

根据模型(1)和(2)进行交互作用分析,分别令 X_i 值为 -1, -0.135, 0, 0.394 4, 1,求得产量的估计值平均数、标准差、变异系数。从表 5 可看出,宁陕点氮肥相同,磷肥不同时,产量的变异系数为 3.45%~11.49%;磷肥相同,氮肥不同时,产量变异数为 18.15%~25.51%;汉滨点氮肥相同,磷肥不同时产量的变异系数为 7.45%~17.31%;磷肥相同,氮肥不同时产量的变异系数为 12.51%~20.94%。说明氮肥效应大于磷肥效应,在氮肥和磷肥适宜配合条件下,产量变异系数小,产量高,在高海拔地区春玉米要获得高产必须保证足量的氮肥和合理的氮磷配比。同时从表 5 可看出,汉滨点对磷肥的敏感性较宁陕点强,而宁陕点对氮肥的敏感性较汉滨点强。

表 4 各因素与产量的关系

地 点	项目	编码值					$\bar{X}$	S	CV%
		-1	-0.135	0	0.394 4	1			
宁陕	氮肥(X_1)	5 215.38	8 803.66	8 975.40	9 303.45	7 667.28	7 993.03	1 670.39	20.90
	磷肥(X_2)	8 293.69	8 946.20	8 975.40	9 028.20	8 708.95	8 590.49	303.48	3.45
汉滨	氮肥(X_1)	5 898.90	8 165.62	8 291.11	8 304.65	7 301.38	7 592.33	1 034.01	13.62
	磷肥(X_2)	6 734.69	8 195.66	8 291.11	8 364.95	7 883.69	7 894.02	673.53	8.53

表 5 氮肥(X_1)和磷肥(X_2)的交互效应

地 点	氮 肥 (X_1)	磷 肥					$\bar{X}$	s	CV%
		-1	-0.135	0	0.394 4	1			
宁陕	-1	4 038.74	5 111.73	5 215.38	5 418.47	5 443.49	5 045.36	579.72	11.49
	-0.135 0	8 015.18	8 718.00	8 803.66	8 798.15	8 563.89	8 579.78	330.13	3.85
	0	8 293.69	8 946.20	8 975.4	9 028.20	8 708.95	8 590.49	303.48	3.45
	0.394 4	8 578.22	9 054.48	9 303.48	8 996.00	8 603.25	8 907.08	311.13	3.49
	1	7 480.49	7 697.59	7 667.28	7 480.50	6 906.29	7 446.43	318.56	4.28
	$\bar{X}$	7 281.26	7 905.56	7 993.03	7 944.59	8 045.17			
	S	1 857.36	1 651.62	1 670.39	1 549.59	1 460.43			
汉滨	CV%	25.51	20.89	20.90	19.50	18.15			
	-1	3 839.25	5 735.52	5 898.9	6 171.24	5 994.75	5 527.93	957.10	17.31
	-0.135 0	6 547.29	8 061.00	8 165.52	8 266.27	7 826.15	7 773.27	704.56	9.06
	0	6 734.69	8 195.66	8 291.11	8 364.95	7 883.69	7 894.02	673.53	8.53
	0.394 4	6 946.73	8 235.99	8 304.65	8 300.21	7 698.75	7 897.27	588.64	7.45
	1	6 248.25	7 273.88	7 301.38	7 176.75	6 390.72	6 878.20	514.60	7.48
	$\bar{X}$	6 063.24	7 500.41	7 592.33	7 656.48	7 158.81			
	S	1 269.46	1 061.23	1 034.01	963.48	895.45			
	CV%	20.94	14.15	13.62	12.59	12.51			

2.2.3 最优施肥方案的确定

2.2.3.1 最高产量的施肥量:欲求最高产量的施肥量,必须使目标函数对各因素的一阶偏导数等于零,

即 $\frac{\partial y}{\partial x_i} = 0$ 将回归系数代入得:

宁陕点:

$$\begin{cases} \frac{\partial y}{\partial x_1} = 1\,225.95 - 5\,068.14X_1 - 494.73X_2 = 0 \\ \frac{\partial y}{\partial x_2} = 207.63 - 948.16X_2 - 494.73X_1 = 0 \end{cases} \quad (5)$$

汉滨点:

$$\begin{cases} \frac{\partial y}{\partial x_1} = 701.24 - 3\,381.94X_1 - 503.25X_2 = 0 \\ \frac{\partial y}{\partial x_2} = 574.5 - 1\,963.84X_2 - 503.25X_1 = 0 \end{cases} \quad (6)$$

解(5)方程得 $X_1 = 0.232\,3$, $X_2 = 0.097\,8$, 宁陕点获得最高产量施纯 N 为 369.69 kg/hm², P₂O₅ 为 98.80 kg/hm².

解(6)方程得 $X_1 = 0.170\,3$, $X_2 = 0.248\,9$, 汉滨点获得最高产量施纯 N 为 351.09 kg/hm², P₂O₅ 为 112.40 kg/hm².

2.2.3.2 经济施肥量:当各处理因素的边际产量等于该处理因素与产量的价格比,或各因素的边际产量值均等于边际成本时,此时各因素的配比为经济

最佳配比,即 $\frac{\partial y}{\partial x_i} = \frac{Px_i}{Py}$ 时为最大利润的施肥量,将回

归系数代入得:

宁陕点:

$$\begin{cases} \frac{\partial y}{\partial x_1} = 1\,225.95 - 5\,068.14X_1 - 494.73X_2 = \frac{3.48}{1.04} = 3.35 \\ \frac{\partial y}{\partial x_2} = 207.63 - 948.16X_2 - 494.73X_1 = \frac{4.33}{1.04} = 4.16 \end{cases} \quad (7)$$

汉滨点:

$$\begin{cases} \frac{\partial y}{\partial x_1} = 701.24 - 3\,381.94X_1 - 503.25X_2 = \frac{3.48}{1.04} = 3.35 \\ \frac{\partial y}{\partial x_2} = 574.5 - 1\,963.84X_2 - 503.25X_1 = \frac{4.33}{1.04} = 4.16 \end{cases} \quad (8)$$

解(7)可得 $X_1 = 0.232\,1$, $X_2 = 0.093\,5$, 即宁陕点经济施肥量为施纯 N 369.63 kg/hm², P₂O₅ 98.42 kg/hm².

解(8)可得 $X_1 = 0.169\,7$, $X_2 = 0.246\,9$, 即汉滨点经济施肥量为施纯 N 350.91 kg/hm², P₂O₅ 112.22 kg/hm².

2.2.3.3 合理施肥区和最佳配比的确定:令模型(1)、(2) $y = y_1$,取不同产量的产量水平,方程 $X_2 =$

$$\frac{-(b_1 + b_{12}x_1) + \sqrt{(b_2 + b_{12}x_1)^2 + 4b_{22}(y_1 - b_0 - b_{11}x_1 - b_{11}x_1^2)}}{2b_{22}}$$

$$\text{令 } \frac{\partial y}{\partial x_1} = 0, \frac{\partial y}{\partial x_2} = 0$$

固定 X_1 或 X_2 的值,用两点法可确定 R_1 、 R_2 即为等产脊线,合理施肥区为等产脊线所包括区域。

宁陕点合理施肥区:

$$\begin{cases} X_1 = -1.916 4X_2 + 0.419 7 \\ X_2 = -10.244 3X_1 + 2.478 \end{cases}$$

汉滨点合理施肥区:

$$\begin{cases} X_1 = -0.148 8X_2 + 0.207 3 \\ X_2 = -0.256 3X_1 + 0.292 5 \end{cases}$$

最佳配比线:等产曲线上某一点的边际脊率等于氮、磷价格比时,此点为一定产量水平下最佳经济肥点,各点的连线为最佳配比线。

$$\text{即 } \frac{\frac{\partial y}{\partial x_1}}{\frac{\partial y}{\partial x_2}} = \frac{P_1}{P_2} = \frac{3.48}{4.33} = 0.803 7$$

代入回归系数得:

宁陕点的最佳施肥配比线为:

$$X_2 = 17.472 6X_1 - 3.962 1$$

汉滨点的最佳施肥配比线为:

$$X_2 = 2.769 5X_1 - 0.222 8$$

2.2.3.4 高产施肥措施寻优:对产量目标函数(1)、(2)在 95% 置信区间进行频数分析得 $y \geq 7 500 \text{ kg/hm}^2$ 的施肥区间为:

宁陕点:施纯 N 262.14 ~ 400.11 kg/hm², P₂O₅ 54.68 ~ 132.34 kg/hm²。

汉滨点:施纯 N 325.62 ~ 392.31 kg/hm², P₂O₅ 91.21 ~ 153.56 kg/hm²。

2.2.3.5 高效低耗施肥措施寻优:高产高效低耗是目前玉米生产的一个重要目标,在模型(1)、(2)的基础上建立经济效益模型: $\hat{y}_e = \hat{y} \cdot P_y - \sum_{i=1}^2 x_i p_i - I_c$, 式中 $\hat{y}_e$ 为效益, $\hat{y}$ 为产量, P_y 为玉米价格, P_{xi} 为投入化肥的单价, I_c 为其它成本(如地膜、种子、人工等,本试验取 $I_c = 1 500 \text{ 元/hm}^2$)。

采用频数分析法,得出 $\hat{y}_e \geq 5 000 \text{ 元/hm}^2$ (95% 的置信限)的施肥措施为:

宁陕点:施纯 N 282.62 ~ 386.55 kg/hm², P₂O₅

52.01 ~ 138.37 kg/hm²。

汉滨点:施纯 N 257.73 ~ 388.30 kg/hm², P₂O₅ 56.31 ~ 175.58 kg/hm²。

2.2.3.6 高产高效施肥措施:以产量 $y \geq 7 500 \text{ kg/hm}^2$, 效益 $\hat{y}_e \geq 5 000 \text{ 元/hm}^2$ 为指标,进行计算机综合决策分析,得出高产高效施肥措施:

宁陕点:施纯 N 282.62 ~ 386.55 kg/hm², P₂O₅ 52.01 ~ 132.34 kg/hm²。

汉滨点:施纯 N 325.62 ~ 388.30 kg/hm², P₂O₅ 91.21 ~ 153.56 kg/hm²。

3 结论与讨论

(1) 通过不同海拔高度条件下氮磷肥料施用量试验,运用计算机进行模拟分析,建立了能够反映产量和效益的玉米生产模型,并进行了检验,确定了模型的可靠性、可行性和有效性,为指导高海拔地区玉米生产与理论研究提供了可行的定性定量依据。

(2) 通过模型分析,明确了高海拔地区春玉米的氮磷肥对产量影响的大小顺序为:氮肥 > 磷肥。氮磷肥之间存在显著的相互作用,因此要获得高产,必须保证足量的氮肥和适宜的氮磷配比。

(3) 通过模型解析,确定了高海拔地区的最高产量施肥量、经济施肥量、合理施肥区、最佳配比线、高产施肥模式、高效低耗施肥模式和高产高效施肥模式。

[参考文献]

- [1] 杨义群,等. 回归设计及多元分析——在农业中应用[M]. 陕西杨陵:天则出版社,1990,92~100.
 - [2] 冯 勇,等. 内单4号春玉米高产栽培技术的研究[J]. 玉米科学,1996,4(2):48~52.
 - [3] 薛吉全,等. 玉米高产高效低耗技术措施研究[J]. 西北农业学报,2001,10(4):34~38.
- 联系电话:029-7082934(办)