

文章编号: 1005-0906(2003)02-0075-03

不同施肥措施对风沙土区玉米产量影响 数学模型的研究

魏自民, 赵越, 周连仁

(东北农业大学, 哈尔滨 150030)

摘要: 试验采用二次回归正交旋转组合设计, 研究了松嫩平原西部风沙土区玉米子粒产量与氮肥、磷肥、钾肥、锌肥、硼肥 5 因素的定量关系, 建立了产量形成的肥料反应模型, 解析了各因素对总产量的主效应及互作效应, 寻求定量生产水平下的最佳农艺措施, 本文得出风沙土区玉米高产栽培措施为: N: 131.04 ~ 148.32 kg/hm²、P₂O₅: 102.20 ~ 109.00 kg/hm²、K₂O: 101.22 ~ 106.59 kg/hm²、Zn: 92.36 ~ 102.64 g/hm²、Bo: 85.68 ~ 95.72 g/hm²。

关键词: 玉米; 高产栽培; 旋转设计; 数学模型

中图分类号: S513.06

文献标识码: A

Study on the Mathematics Models Effecting the Cultural Factors on Corn Yield in Blown Soil

WEI Zi-min, ZHAO Yue, ZHOU Lian-ren

(Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: The relationship on corn yield in blown soil in the west part of Songnen plain with nitrogen, phosphorus, potash, zinc and boron fertilizers were studied, and a mathematical model involving the four factors and maize yield was established by using the orthogonal rotation design. The effects of individual factor and its interactions on maize yield were determined and the optimum agronomic practices in certain conditions were found by analyzing the model. The optimum comprehensive practices of high yield in blown soil area were: N: 131.04 ~ 148.32 kg/ha, P₂O₅: 102.20 ~ 109.00 kg/ha, K₂O: 101.22 ~ 106.59 kg/ha, Zn: 92.36 ~ 102.64 g/ha, Bo: 85.68 ~ 95.72 g/ha.

Key words: Corn; High yield cultivation; Rotation design; Mathematical model

玉米是松嫩平原西部风沙土区主要栽培作物之一, 但由于气候干旱、土壤贫瘠、施肥不合理等原因, 使该地区玉米产量始终处于较低的水平, 因此如何采取适宜的栽培技术措施, 充分发挥其生产力, 是当前风沙土区玉米生产进一步获得高产的关键之一。本项研究运用农业系统工程的原理和方法, 对玉米氮肥、磷肥、钾肥、硼肥、锌肥的施用量组建 5 项栽培因子的数学模型, 定性定量分析栽培因子对玉米产量的影响, 作为栽培措施对玉米生产效应的反馈信息之一, 以便更好地运用农业措施提高风沙土区玉米的产量。

1 材料与方法

收稿日期: 2002-11-10

作者简介: 魏自民(1969-), 男, 在职博士, 研究方向为农业环境保护。

攻关项目: 黑龙江省科计攻关项目部分内容(96067)。

试验于 1988 年至 2000 年在齐齐哈尔市建华农场进行, 试验土壤为风沙土, 有机质含量为 16.66 g/kg, 碱解氮 68.05 mg/kg, 速效磷 9.36 mg/kg, 速效钾 38.05 mg/kg, pH 值 8.12。供试玉米品种为东农 301。选用氮肥、磷肥、钾肥、锌肥、硼肥为试验因素, 采用二次回归正交旋转组合设计。试验共设 36 个处理, 除零水平均匀分布外, 其他小区随机排列, 每小区面积为 35 m², 小区全收计产。各栽培因子设计水平见表 1。

表 1 因子水平及编码(R=2)

因素	码值 变量	码值水平					
		间距	-2	-1	0	1	2
氮肥(N kg/hm ²)	X ₁	60	0	60	120	180	240
磷肥(P ₂ O ₅ kg/hm ²)	X ₂	40	0	40	80	120	160
钾肥(K ₂ O kg/hm ²)	X ₃	30	0	30	60	90	120
锌肥(Zn g/hm ²)	X ₄	40	0	80	120	160	200
硼肥(Bo g/hm ²)	X ₅	40	0	80	120	160	200

2 结果与分析

2.1 产量函数的建立及检验

3 年试验资料分析结果趋势基本一致, 现仅以 1999 年为例进行分析。

将小区试验所得产量折合成每公顷产量, 运用计算机直接运算得到回归模型如下:

$$Y = 7581.02 + 139.75X_1 + 139.37X_2 + 306.39X_3 + 33.75X_4 - 30.25X_5 - 80.28X_1^2 - 177.41X_2^2 - 129.02X_3^2 - 64.16X_4^2 - 90.03X_5^2 - 34.86X_1X_2 - 14.25X_1X_3 - 8.06X_1X_4 + 90.56X_1X_5 + 52.31X_2X_3 - 2.25X_2X_4 + 20.25X_2X_5 - 105.38X_3X_4 - 133.13X_3X_5 - 32.06X_4X_5 \quad (1)$$

方差分析结果 $F_1=3.00 < F_{0.05}(9,6)=3.37$ 不显著, 表明未知因子对试验结果影响很小; $F_2=9.60 > F_{0.01}(15,20)=3.36$ 回归极显著, 说明回归方程(1)与实际情况拟合较好, 且 5 项栽培因子与玉米产量间在一定水平达到显著或极显著水平, 具有实际意义, T 检验结果表明, 除 b_{12} 、 b_{13} 、 b_{14} 、 b_{24} 、 b_{25} 、 b_{45} 外, 其它系数均在一定水平下显著, 因此回归方程可改写为:

$$Y = 7581.02 + 139.75X_1 + 139.37X_2 + 306.39X_3 + 33.75X_4 - 30.25X_5 - 80.28X_1^2 - 177.41X_2^2 - 129.02X_3^2 - 64.16X_4^2 - 90.03X_5^2 + 90.56X_1X_5 + 52.31X_2X_3 - 105.38X_3X_4 - 133.13X_3X_5 \quad (2)$$

2.2 模型的解析

2.2.1 主因子效应分析

由于采用旋转组合设计, 五种肥料施用量的编码值的取值均限制 $-2 \sim +2$ 的范围内, 在编码的因子空间中处于完全平等地位, 所以从方程(1)的回归系数可以直接反映了该因子的作用大小, 其符号则反映该因素的作用方向, 从一次项的系数可知, 各元素就每一编码值的正向增产作用为 $K > N > P > Zn > B$, 当考虑二次项效应时, 采用降维法, 固定其中二因素于零水平, 即相当于在特定条件下所进行的一组单因子试验, 得到回归子模型为:

$$\left. \begin{aligned} Y_N &= 7851.02 + 139.75X_1 - 80.28X_1^2 \\ Y_P &= 7851.02 + 139.37X_2 - 177.41X_2^2 \\ Y_K &= 7851.02 + 306.39X_3 - 129.02X_3^2 \\ Y_{Zn} &= 7851.02 + 33.75X_4 - 64.16X_4^2 \\ Y_B &= 7851.02 - 30.25X_5 - 90.03X_5^2 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

对方程进行解析, 其中氮肥在 $[-2, 1]$ 、磷肥 $[-2, 0.5]$ 、钾肥 $[-2, 1]$ 、锌肥 $[-2, 0.5]$ 、硼肥 $[-2, 0]$ 区域内为增函数, 随着施肥量的增加, 玉米产量相应提高。

将其不同水平值分别代入(3)中各方程得出其对应的产量值, 钾肥取不同编码值, 对产量的影响很大, 并在编码为 1 水平产量达到最大值, 比取值 -2

时产量增加 20.24%, 这是由于松嫩平原西部风沙土区, 钾素含量低, 因此增施钾肥是风沙土区玉米获得高产的主要因素。

2.2.2 互作效应分析

在模型(1)中, X_1X_5 、 X_2X_3 、 X_3X_4 、 X_3X_5 互作达显著水平, 其中 $N \times B$ 、 $P \times K$ 交互作用是正向的, 而 $K \times Zn$ 、 $K \times B$ 交互作用为负向。将模型(2)中其它三个因子固定在零水平, 即可得到两个因子与产量的子模型为:

$$Y_{N \times B} = 7581.02 + 139.75X_1 - 30.25X_5 - 80.28X_1^2 - 90.03X_5^2 + 90.56X_1X_5 \quad (4)$$

$$Y_{P \times K} = 7581.02 + 139.37X_2 + 306.39X_3 - 177.41X_2^2 - 129.02X_3^2 + 52.31X_2X_3 \quad (5)$$

$$Y_{K \times Zn} = 7581.02 + 306.39X_3 + 33.75X_4 - 129.02X_3^2 - 64.16X_4^2 - 105.38X_3X_4 \quad (6)$$

$$Y_{K \times B} = 7581.02 + 306.39X_3 - 30.25X_5 - 129.02X_3^2 - 90.03X_5^2 - 133.13X_3X_5 \quad (7)$$

对方程(4)进行解析表明, 在低硼 $[-2, 0]$ 条件下, 增加氮肥的施用量对产量的影响不大, 此时变异系数为 2.30% ~ 3.60%, 但在高硼 $[0, 2]$ 条件下, 增施氮肥效果明显, 变异系数为 3.60% ~ 7.56%。这说明较高的氮肥、硼肥配合施用, 有助于玉米产量的提高。

对方程(5)进行解析表明, 低磷水平 $[-2, 0]$, 增施钾肥对玉米的增产效果较小, 变异系数为 6.32% ~ 7.39%, 在高磷水平 $[1, 2]$, 增加钾肥的施入可明显提高产量, 变异系数为 8.46% ~ 10.46%。同样, 在低钾 $[-2, 0]$ 水平, 增施磷肥, 增产效果不显著, 变异系数为 5.52% ~ 5.51%, 高钾水平 $[1, 2]$, 增施磷肥变异系数为 6.07% ~ 6.05%。产量的最高组合为磷肥 $X_2=1$ 水平, 钾肥 $X_3=1$ 水平。说明磷肥、钾肥高比例配合施用, 可提高玉米产量。

对方程(6)、(7)分析表明, 在低锌水平, 即因素水平为 -1 时, 随着钾肥施用量的增加, 产量也呈递增的趋势, 在钾因素水平为 2 时, 产量达到最大值 7 790.7 kg/hm²; 钾、硼交互作用与钾、锌交互作用基本相同。

2.2.3 边际产量分析

对回归子模型(3)应一阶导数得到单因素边际产量方程:

$$\left. \begin{aligned} \partial Y_N / \partial X_N &= 139.75 - 40.14X_N \\ \partial Y_P / \partial X_P &= 139.37 - 88.75X_P \\ \partial Y_K / \partial X_K &= 306.39 - 64.51X_K \\ \partial Y_{Zn} / \partial X_{Zn} &= 33.75 - 32.08X_{Zn} \\ \partial Y_B / \partial X_B &= 30.25 - 45.01X_B \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

表2 各因素边际效应值

因素	编码值				
	-2	-1	0	1	2
氮肥(X_1)	220.03	179.89	139.75	99.61	59.47
磷肥(X_2)	316.87	228.12	139.37	50.62	-38.13
钾肥(X_3)	445.41	370.90	306.39	241.88	167.37
锌肥(X_4)	97.91	65.83	33.75	1.67	-30.41
硼肥(X_5)	120.27	75.26	30.25	-14.76	-59.77

将编码值代入方程(8),得到各因素在不同水平下的边际产量(见表2),由表2可知,在低水平时,各因素的边际产量较大,随着因素水平的增加,边际产量降低,即表现出报酬递减的趋势,其中磷、锌、硼肥分别在1.57、1.05、0.67水平以上边际产量为负值,当氮肥、钾肥因素水平达到2时,边际产量仍为

表3 玉米产量>7 500 kg/hm²的单因子水平频率分析

编码	因素									
	氮肥(X_1)		磷肥(X_2)		钾肥(X_3)		锌肥(X_4)		硼肥(X_5)	
	次数	频率								
-2	16	0.065	0	0.000	0	0.000	54	0.219	68	0.275
-1	46	0.186	3	0.012	0	0.000	77	0.312	78	0.316
0	70	0.283	109	0.441	20	0.081	71	0.287	68	0.275
1	71	0.287	109	0.441	95	0.385	44	0.178	33	0.134
2	44	0.178	26	0.105	132	0.534	1	0.044	0	0.000
加权均数(X)	0.328		0.640		1.453		-0.563		-0.733	
标准差(SX)	0.074		0.043		0.041		0.066		0.064	
95%置信区间	0.184~0.472		0.555~0.725		1.374~1.553		-0.691~-0.434		-0.858~-0.607	
反代农艺措施	131.04~148.32		102.20~109.00		101.22~106.59		92.36~102.64		85.68~95.72	

2.3 模型的印证

2000年,在齐齐哈尔建华农场试验基地同时安排了单因子试验和大面积示范,小区试验结果表明:当施肥水平为N:135 kg/hm²、P₂O₅:105 kg/hm²、K₂O:103 kg/hm²、Zn:100 g/hm²、Bo:90 g/hm²时,单产可达7 665.2 kg/hm²,与用方程(1)求得的产量值很接近。按产量为7 500 kg/hm²标准设计的施肥水平玉米示范50 hm²,平均单产可达7 752.3 kg/hm²,说明此模型对风沙土区玉米的施肥技术有较好的指导作用。大面积应用有待进一步证实。

3 结论

(1)选取氮肥、磷肥、钾肥、锌肥、硼肥施用量5项因子为研究对象,建立以玉米产量为目标函数的数学模型,经检验达极显著水平,拟定合度好,与生产实际相吻合,同时也表明运用农业系统工程的方法和原理,研究栽培因子与大豆产量的关系,其方法先进可靠、准确性高、综合性好、系统性强。

(2)单因子对风沙土区玉米产量影响均符合二次曲线关系,且达到显著水平。对玉米产量作用大小

正值,但增产幅度变缓。

2.2.4 最优农艺措施的确定

对方程(2)经计算机模拟,可得到风沙土区玉米最高产量8 031.6 kg/hm²,对应的组合方案为 $X_1=0$ 、 $X_2=1$ 、 $X_3=2$ 、 $X_4=-1$ 、 $X_5=-1$ 但此方案出现的频率较低,生产上可行性不大。进一步对方程进行频率分析,得出产量>7 500 kg/hm²的组合方案为247个,利用步长法研究这些方案组合,令步长等于1,经计算可以确定松嫩平原西部风沙土区玉米栽培的最佳农艺措施N:131.04~148.32 kg/hm²、P₂O₅:102.20~109.00 kg/hm²、K₂O:101.22~106.59 kg/hm²、Zn:92.36~102.64 g/hm²、Bo:85.68~95.72g/hm²。

顺序为:钾肥(X_3)>磷肥(X_2)>氮肥(X_1)>硼肥(X_5)>锌肥(X_4);其中磷肥与钾肥、氮肥与硼肥、钾肥与锌肥、钾肥与硼肥的交互效应达极显著或显著水平。

(3)经计算机模拟分析确定玉米产量7 500 kg/hm²以上的栽培因子优化组合方案:N:131.04~148.32 kg/hm²、P₂O₅:102.20~109.00 kg/hm²、K₂O:101.22~106.59 kg/hm²、Zn:92.36~102.64 g/hm²、Bo:85.68~95.72 g/hm²。

(4)在松嫩平原西部风沙土区,玉米产量常受许多因子影响,其中气候因子的影响为最大。在不同的气候条件的年份中,各栽培因子对玉米的产量影响是有差别的,因子间的互作效应也不同,尚需进一步研究。

参考文献:

- [1] 徐中儒,等. 农业试验最优回归设计[J]. 哈尔滨:黑龙江科学技术出版社,1998.
- [2] 李钟. 川中紫色土不同密度施肥措施对玉米产量的影响[J]. 土壤肥料,2000(1):25-27.
- [3] 于桂霞,王继才. 旱地玉米高产综合农艺措施数学模型的研究[J]. 玉米科学,1999,7(4):35-39.

通讯作者:周连仁 电话:0451-5191175