

黑龙江省玉米区域性农业生产 数学模型的建立及应用

葛家麒 侯中田 徐中儒

(东北农学院, 哈尔滨)

摘 要

本文根据在黑龙江省31个县、市进行的多年玉米农业生态联合试验,并运用双重组合设计原理进行模型挂接,建立了黑龙江省玉米区域性农业生产数学模型。初步揭示了积温、降水、土壤肥力及农肥、化肥对玉米产量的影响程度及相互间的变化规律,并应用模型对玉米产量形成过程进行了模拟和预测。

关键词: 玉米, 区域, 模型挂接, 双重组合设计。

一、前 言

玉米是黑龙江省的主要粮食作物, 占总产量的三分之一。如何运用科学方法揭示玉米的生产规律和随因子格局重组而发生的动态变化, 并对玉米生产进行指导, 对粮食生产的发展有重要的意义。影响产量的因素很多, 有可控因素和非可控因素, 将两因素综合起来研究已成为国内外研究的重大课题。本试验综合运用生态、数学、计算机科学, 在黑龙江省不同土壤区的31个县、市布置了130个实验点, 6612个试验小区的生态网定位试验。为充分利用黑龙江省的水热资源, 提高玉米产量和玉米生产的合理布局提供了科学依据, 亦为宏观领域的决策和粮食产量的预测提供了科学方法。

二、试 验 设 计

本试验采用正交旋转回归设计方法^[1], 用统一试验方案, 选可控因子氮肥(尿素)、磷肥(三料磷)、钾肥(硫酸钾)以及有机肥作四因素二次旋转组合设计试验。试验地选用黑土类平坦地块, 土壤有机质含量在1.5—6.5%之间, 小区面积33.6m², 试验品种为当地主栽品种。在小区试验的基础上, 应用双重组合设计原理, 安排微区试验并通过模型挂接^[2], 挂接成包括非可控因素积温、降水、有机质和可控因素氮肥、磷肥、钾肥及有机肥在内的7因素部分实施二次正交旋转组合试验(见表1)。

试验结果用“旋转回归设计专用程序包^[3]”在IBM机上运算。气象资料来自黑龙江省气象台, 土壤有机质含量为各试验地实测值。

本文于1990年12月18日收到。

表 1 试验因素水平编码表

Table 1 Codes of experimental factor levels

因 素	间 隔	因 素 水 平			
		-2.828	0	2.828	
x_1 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温($^\circ\text{C}$)	150	2225	2650	3075	
x_2 5—9月降水量(mm)	100	217	500	782	
x_3 尿素(kg)	5	0	14	28	
x_4 三料磷(kg)	5	0	14	28	
x_5 硫酸钾(kg)	3.5	0	10	20	
x_6 有机肥(kg)	350	0	1000	2000	
x_7 有机质(%)	1	1.2	4	6.8	

三、试验结果分析

1. 黑龙江省玉米区域性农业生产数

学模型的建立

将试验数据输入计算机,通过计算得关于产量 y 的7因素二次正交回归模型。

$$y = 396.71 + 57.16x_1 + 13.22x_2 + 22.34x_3 + 8.99x_4 + 2.03x_5 + 15.50x_6 + 12.17x_7 +$$

$$9.29x_1x_2 + 8.84x_1x_3 - 1.72x_1x_4 - 0.13x_1x_5 - 0.07x_1x_6 + 2.94x_1x_7 + 0.40x_2x_3 + 0.74x_2x_4 + 0.32x_2x_5 + 1.33x_2x_6 - 3.95x_2x_7 + 0.65x_3x_4 - 1.58x_3x_5 + 2.73x_3x_6 + 2.21x_3x_7 - 6.05x_4x_5 - 8.13x_4x_6 + 3.37x_4x_7 - 1.46x_5x_6 - 2.67x_5x_7 - 1.82x_6x_7 - 0.72x_1^2 - 37.29x_2^2 - 0.25x_3^2 - 0.72x_4^2 - 0.54x_5^2 + 2.58x_6^2 - 1.97x_7^2 \quad (1)$$

对其进行显著性检验, $F_1 = 1.48 < F_{0.05}(43, 21) = 1.95$, $F_2 = 12.43 > F_{0.01}(35, 64) = 1.92^{[1]}$ 。说明方程(1)有效并与实际情况拟合较好。进一步对回归系数进行 t 检验。除 x_6 外,其它各因素都达到显著或极显著水平。由于此模型包含了非可控因素,因而有效地把气候模型和生物量模型结合起来,把生态网试验的大量生态信息与玉米产量联系起来,更提高了模型参数的精度和模型的可信度。为农业生产复杂过程的定量研究提供了必要条件。

2. 玉米产量与诸因素的关系

(1)计算诸因素贡献率依次为:降水为2.33、积温为1.81、有机肥为1.43、氮肥为1.38、磷肥为1.23、有机质为0.96、钾肥为0.05^[4]。可见降水和积温对产量影响最显著^[4]。

(2)用极值分析求得玉米最高亩产为884.14kg,出现在高温(3000 $^\circ\text{C}$ 以上积温)、降水适宜(536mm左右)、氮磷肥施用量较高、土质肥沃的地区。

(3)频数分析,取步长为1.414的稀网格点将-2.828到2.828的区间分成4段,上机计算,共有78125个农艺组合方案。可求出最佳农艺措施及高产区、中产区和低产区各生态因子格局的置信区间(见表2)。在黑龙江省玉米取得500kg以上高产的生态条件是:高积温、

表 2 各因素分布的频率及置信区间

Table 2 Distributional frequencies of each factor and confidence interval

区 间	因 素	$N(y \geq 500) = 7675$							$N(y \leq 300) = 48037$						
		x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7
-2.828		0	1	65	1400	1596	1101	815	15254	15177	11853	10277	9788	10446	10822
-1.414		3	1124	500	1434	1576	1117	1209	12779	8762	10466	9917	9654	10393	9988
0		410	3441	1347	1498	1540	1298	1594	9152	4582	9341	9613	9560	9937	9371
1.414		2259	2678	2403	1600	1502	1735	1925	6435	6982	8540	9268	9515	9216	9001
2.828		5003	431	3350	1743	1461	2424	2132	4417	12534	7837	8962	9520	8045	8855
区间下限		2.24	0.41	1.53	0.11	-0.11	0.55	0.57	-0.84	-0.23	-0.31	-0.11	-0.04	-0.19	-0.16
区间上限		2.27	0.46	1.59	0.20	-0.02	0.64	0.65	-0.80	-0.19	-0.27	-0.08	-0.02	-0.15	-0.12

雨量适宜、氮肥和有机肥施肥水平较高、土质肥沃。而积温低、多雨或干旱、少肥是玉米低产的主要原因。

(4) 对模型(1)求偏导, 可得玉米的边际产量效应。计算在不同编码水平下玉米产量关于各因素的变化速率。可知, 在试验范围内, 积温始终是正效应, 其变化速率随积温增加而增加。因此, 提高积温利用率是获得玉米高产的重要措施。随着降水量增加, 玉米产量由升到降, 且变化幅度最大。进一步说明水对玉米产量的影响最大。水过少或过多都会引起大幅度减产。氮肥、有机肥和有机质增加, 都可提高产量, 而氮肥增产潜力大一些。磷钾肥随用量增加, 增产效应递减。

(5) 因素对玉米产量的动态分析。图 1 给出积温-元子模型在三种不同组合下产量变化曲线。可见积温与产量成正相关, 产量对积温的变化反应敏感, 增加其它因素投入可在一定程度上提高玉米对积温的利用率。由图 2 可见, 氮肥的增产效果随其它因素投入增加而增强。

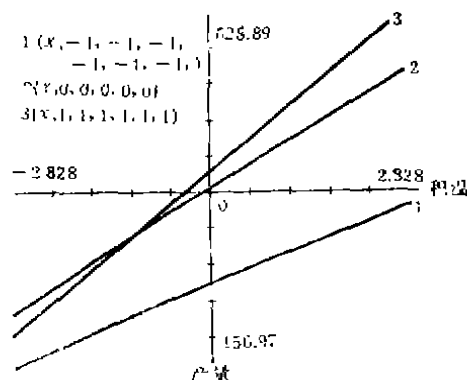


图 1 积温与产量的关系
Fig.1 The effect of accumulated temperature on crop yield

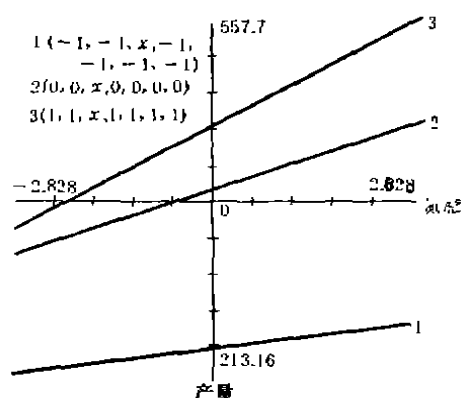


图 2 氮肥与产量的关系
Fig.2 The effect of nitrogenous fertilizer on crop yield

图 3 给出了积温和降水两个变量的产量曲面图, 可见, 当积温较高而降水适宜时, 玉米产量较高; 低温多雨或低温干旱都将使玉米产量迅速下降。

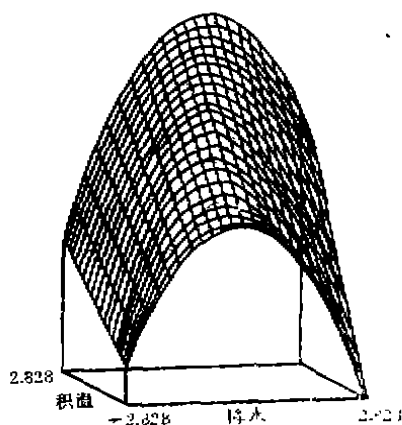


图 3 积温与降水曲面图
Fig.3 Surface of accumulated temperature and precipitation

图 4 表明, 玉米高产区出现在高氮高有机肥条件下, 氮肥和有机肥有互补作用, 氮肥增产效果好于有机肥。

四、模型验证

1. 用实测产量对模型(1)进行验证, 结果见表 3。

$$\begin{aligned} x^2 &= \sum \frac{(y - \hat{y})^2}{\hat{y}} \\ &= 2.028 < x_{0.05}^2(6) = 12.529 \end{aligned}$$

经卡平方检验实测产量和预测产量间差异不显著^[6]。

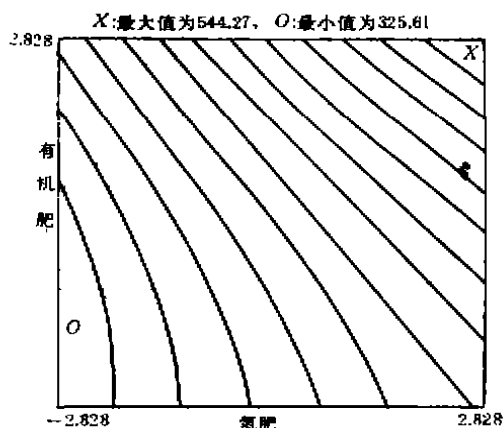


图4 氮肥与有机肥的等产量图

Fig.4 Isoplethic yield curve of nitrogen fertilizer and organic fertilizer

kg, 预测 60.95×10^8 kg, 偏差 - 3.6%。可见模型(1)预测的产量基本符合实际, 可用此模型进行预测。

表3 模型验证

Table 3 Test of models

地 名	时 间 (年)	实测产量 (kg/亩)	预测产量 (kg/亩)	差 异 (kg)
齐齐哈尔市梅里斯乡	1983	273.5	285.6	-12.1
齐齐哈尔市梅里斯乡	1984	320.8	317.0	3.8
甘 南 县	1985	208.0	195.5	12.5
拜泉县自兴村	1985	251.5	247.4	4.1
拜泉县荣跃村	1985	232.5	244.1	-11.6
双城县青岭	1986	646.9	652.7	-5.8

2. 利用模型(1)对黑龙江省1985年、1986年玉米产量进行验证性预测。1985年实测产量为 41.17×10^8 kg, 预测产量为 41.33×10^8 kg, 偏差 0.4%。1986年实测产量 63.2×10^8

五、模 型 应 用

从1987年起, 我们利用模型(1)对黑龙江省玉米生产进行了预报, 预报结果如下: 1987年、1988年实测产量分别为 64.61×10^8 kg 和 68.38×10^8 kg, 而预测产量分别为 67.61×10^8 kg 和 65.46×10^8 kg, 偏差分别为 4.6% 和 -4.3%, 都在 $\pm 5\%$ 以内, 精度很高。此种方法省工、省时、迅速、准确。模型(1)的另一应用是根据各地实际生态条件通过优化选出最佳农艺措施。已在松花江地区和齐齐哈尔市的部分县实施, 取得明显效果。

六、结 论

1. 建立了黑龙江省玉米区域性农业生产数学模型, 经多年验证, 表明此模型很好地模拟了玉米生产的动态变化, 并定量地描述了积温、降水、土壤肥力、农肥、化肥与玉米产量关系的复杂系统的动态变化。可以用此模型对玉米生产进行宏观指导和产量预测, 为大区域粮食产量预测提供了一种有效的方法。

2. 通过模型分析可以看到在黑龙江玉米生产中, 降水和积温是影响产量的主要因素。利用此模型可进一步研究在不同气候年寻找相应的最佳农艺对策, 充分利用水热资源, 保证玉米稳产高产。

3. 根据各因素变化对玉米产量的影响可以得出: 热量充足、降水适宜、土质肥沃、氮肥、有机肥施用量较大是玉米高产的最佳生态条件。

4. 随着软件系统的进一步完善, 可用此模型分析和预测气候波动对粮食产量的影响。提供化肥对玉米投入产出效益和相应的化肥分配方案, 为科学决策提供依据。

参 考 文 献

- [1] 朱伟勇等, 1981, 《最优设计理论与应用》, 第241—246页, 辽宁人民出版社。
[2] 徐中儒等, 1989, 组合设计与信息获取分析, 《信息与农业决策研讨会论文集》, 第70—73页, 黑龙江科学技术出版社。
[3] 郭铁城等, 1988, 旋转设计试验专用程序包, 东北农学院学报 17(4), 413—420。
[4] 徐中儒, 1988, 《农业试验最优回归设计》, 第235—270页, 黑龙江科学技术出版社。

THE ESTABLISHMENT AND APPLICATION OF MATHEMATIC MODEL FOR CORN REGIONAL PRODUCTION IN HEILONGJIANG PROVINCE

Ge jia-Qi Hou Zhong-Tian Xu Zhong-Ru

(Northeast Agricultural College, Harbin)

Based on the joint experiments of corn agricultural ecology in 31 cities and counties in Heilongjiang province and on the model connection according to the theory of double combination design, a mathematic model of corn regional production in Heilongjiang is established. It reveals to what extent the accumulated temperature, precipitation, soil fertility, farm manure, and chemical fertilizers can affect corn yield. The model also reveals the regularity of variation of those factors. The model has already been applied to simulate the process of corn production and to predicate the corn yield.

Key words: corn, region, model connection, double combination design predicate.