

大豆产量预测预控数学模型的研究*

刘志芳

(黑龙江省农业科学院大豆所)

摘 要

本试验采用四元二次正交回归旋转组合设计方法,建立了密度、氮、磷、钾肥四因素的综合效应产量模型,通过计算机模拟,筛选出亩产 225 公斤以上的农艺措施组合方案,并通过主成分分析,评价了各因素对产量的贡献。还利用特定产区大豆的历史资料,经逐步回归分析建立了相应产区的大豆气象趋势产量模型,并将气象因素引入栽培模型,建立了具体产地的大豆产量预测预控模型。

关键词 大豆;产量;数学模型;预测;预控

对大豆传统的栽培方法进行改革,提高产量水平,成为日益紧迫的研究课题,对此,国内已有不少学者进行过研究^[1,2,3],并建立了高产栽培模型,促进了规范化栽培的发展。

规范化栽培的首要目的就是保证高产、稳产,因此在建模时有必要将引起年际间产量大幅度波动的主要因子——气象因素的复杂作用考虑进去,以便对以后若干年的产量进行预控预测,但在这方面的研究还很少。本研究旨在通过建立大豆高产栽培模型,寻求获得大豆高产的最佳农艺措施组合方案,并结合气象因素及趋势产量的变化,把气象因素引入栽培模型,探讨建立具体产地大豆产量预测预控模型的简单方法,从而达到拓宽栽培模型的适用范围,提高产量预测预控精度的目的。

一、材料与 方法

(一)大豆高产栽培模型

本试验于 1987 年在东北农学院香坊实验站进行,前茬小麦,淋溶黑土,有机质

* 本研究得到张瑞忠教授、徐中儒教授的指导,谨致谢意。

本文于 1990 年 10 月 15 日收到。

This paper was received on Oct. 15, 1990.

2.82%,全氮 0.147%,全磷 0.074%,全钾 2.20%,碱解氮 127ppm,速效磷 68.8ppm,速效钾 213ppm。供试品种为绥农 4 号。采用二次正交回归旋转组合设计,各因素及水平编码见表 1。

试验共计 36 个小区,分成三个区组,8 行区,行长 5m,行距 50cm,小区面积为 20m²,其它管理措施皆与普通田间试验相同。除尿素以半量在花期追施外,其它化肥均作种肥。秋季测产,并进行产量构成因子分析。

表 1 因素水平线性编码表

Table 1 Level of factors and linear code

因素 Factors	零水平 Level zero	间距 Class Interval	水平与线性编码 (r=2) Level and linear code				
			-2	-1	0	1	2
密度 X ₁ Density	30 株/m ² Plants/m ²	10	10	20	30	40	50
尿素 X ₂ Urea	6 公斤/亩 kg/mu	3	0	3	6	9	12
三料磷 X ₃ Ca(H ₂ PO ₄) ₃	12 公斤/亩 kg/mu	6	0	6	12	18	24
硫酸钾 X ₄ K ₂ SO ₄	12 公斤/亩 kg/mu	6	0	6	12	18	24

注:化肥均为商品量

(二)气象趋势产量模型

气象资料来自黑龙江省气象台哈尔滨观测站 1961~1987 年共 27 年的观测值。气象要素分为 5~9 月各月的平均气温 T_i ($i=5,6,\dots,9$),日照时数 S_j ($j=5,6,\dots,9$),降雨量 R_m ($m=5,6,\dots,9$)。哈尔滨产区 1961~1987 年的平均亩产来自黑龙江省农业厅统计资料。

通常认为,作物亩产的估计值(\hat{y}_t)等于趋势产量的估计值(\hat{y}_t)与气象产量的估计值(\hat{y}_w)之和,即: $\hat{y}_t = \hat{y}_t + \hat{y}_w$ 。

现利用哈尔滨产区历年的记载产量(y)与年份(t)进行回归分析,得到该产区的趋势产量方程 $\hat{y}_t = a_1 + bt$ 。用历年的记载产量减去由 $\hat{y}_t = a_1 + bt$ 求出的历年趋势 y_t ,将其差值 $y_t - y_t$ (即气象产量 y_w)及 T_i, S_j, R_m 逐一输入计算机进行逐步回归分析,选取对 y_w 贡献大的自变量建立气象产量模型 $\hat{y}_w = a_2 + \sum C_n Q_n$,其中 C_n 为回归系数, Q_n 为气象要素(自变量),从而建立大豆气象趋势产量模型 $\hat{y}_t = \hat{y}_t + \hat{y}_w$ 。

(三)大豆产量预测预控模型

根据气象产量和趋势产量的变化,确定产区所测年份的调整参数 K ,并将 K 挂接到高产栽培数学模型上,得到具体产地的大豆产量预测预控模型 $\hat{y}_t = \hat{y}_t + K$ 。

二、模型建立及结果分析

(一)高产栽培数学模型的建立

使用“旋转设计试验数据分析程序包”对试验田测产结果进行分析,得到产量与密度、氮、磷、钾肥之间关系的回归模型为:

$$\begin{aligned}\hat{y}_a = & 239.4375 - 0.9146x_1 - 5.3271x_2 - 0.5062x_3 + 2.8646x_4 - 0.4094x_1x_2 - \\ & 1.2156x_1x_3 + 1.0219x_1x_4 - 0.034374997x_2x_3 + 0.3281x_2x_4 + 1.8219x_3x_4 - 7.6964x_1^2 - \\ & 0.4339x_2^2 - 1.7089x_3^2 - 0.6276x_4^2\end{aligned}\quad (1)$$

为确定所得模型是否具有实际意义,需进行方差分析及 F 检验,结果如下:

$$D_{\text{总}} = 1488.16528 \quad f_{\text{总}} = 11$$

$$D_{\text{总}} = 5676.85108 \quad f_{\text{总}} = 35$$

$$D_{\text{回}} = 3009.67327 \quad f_{\text{回}} = 14$$

$$D_{\text{剩}} = 2667.17781 \quad f_{\text{剩}} = 21$$

$$D_{\text{拟}} = 1179.01252 \quad f_{\text{拟}} = 10$$

$$F_1 = 0.8715 < F_{0.05}(10, 11) = 2.85$$

$$F_2 = 1.6926 > F_{0.20}(14, 21) = 1.50$$

由此说明,试验数据与所采用的数学模型是符合的,模型(1)模拟不显著,拟合精度较高,可基本是反映出产量与密度、氮、磷、钾之间的关系。对其各项回归系数作 t 检验,从而剔除不显著项得到简化后的模型(2):

$$\hat{y}_a = 239.4375 - 5.3271x_2 + 2.8646x_4 - 7.6964x_1^2 - 1.7089x_3^2 \quad (2)$$

由于(1)式拟合较好,所以直接用它进行下面的优化分析,而在进行实际应用时,为简便运算,可使用模型(2)。

(二)高产栽培数学模型的优化与解析

求目标函数为最优解,即:

$$y = f(x) = f(x_1, x_2, \dots, x_m) = b_0 + \sum_{j=1}^m b_j x_j + \sum_{i < j} b_{ij} x_i x_j + \sum_{j=1}^m b_{jj} x_j^2$$

已知 $m=4$,求方程(1)目标函数为非线性函数,约束条件为 $-\gamma < X_j < \gamma, j=1, 2, 3, 4$ 内的非线性规划问题。因系数矩阵 A 不定,无极值。使用“程序包”在微机上寻求此类非线性规划的最优解:每亩产量的最大值为 251.79 公斤,即为该品种在试验地条件下的最大生产潜力,此时农艺决策变量为 $x_1=0.0539$ (31.62 株/ m^2), $x_2=-2$ (0 公斤/亩), $x_3=0.919$ (16.54 公斤/亩), $x_4=2$ (24 公斤/亩)。

这里的最优解是理论值,其出现的频率很低,而我们所要寻求的最佳方案必须具有可行性,故采用频数分析法,利用“程序包”给定产量分类上界为 225 公斤,下界为 200 公斤,令步长为 1。通过频数分析可求出相应产量水平的农艺措施组合(表 2),这实际上是预控。在此,亩产多于 225 公斤的方案占总数方案的 39.2%。

由表 2 可知,绥农 4 号大豆在香坊实验站或与之相似条件下,亩产 225 公斤以上所需

要的农艺措施组合为亩保苗1.92~2.04万株,每亩施入3.72~4.61公斤尿素、10.80~12.81公斤三料磷、12.70~14.72公斤硫酸钾。

表2 大豆亩产225公斤以上的综合技术措施

Table 2 Agricultural integrated measures for yield more than 225kg. mu⁻¹

因 素 Factors 编 码 Code	X ₁ (密度) (Density)		X ₂ (尿素) (Urea)		X ₃ (三料磷) (Ca(H ₂ PO ₄) ₂)		X ₄ (硫酸钾) (K ₂ SO ₄)	
	频 数 Time	(%)	频 数 Time	(%)	频 数 Time	(%)	频 数 Time	(%)
-2	0	0	70	28.6	43	17.6	32	13.1
-1	75	30.6	69	28.2	54	22	43	17.6
0	102	41.6	59	24.1	56	22.9	52	21.2
1	68	27.8	35	14.3	52	21.2	59	24.1
2	0	0	12	4.9	40	16.3	59	24.1
频数合计 Time total	245		245		245		245	
Come \bar{X}	-0.0286		-0.6122		-0.0327		0.2857	
S \bar{X}	0.0488		0.0753		0.0854		0.0862	
95%置信区间 Fiducial interval	-0.124~0.067		-0.7598~-0.465		-0.200~0.135		0.117~0.455	
农 艺 措 施 Agricultural measures	19200~20100 株/亩 Plants/mu		3.72~4.61 公斤/亩 kg/mu		10.80~12.81 公斤/亩 kg/mu		12.70~14.73 公斤/亩 kg/mu	

为了评价各因素对产量形成的贡献,经主成分分析得正交变换标准方程(3):

$$y=239.4375-1.3631y_1-5.6649y_2-1.900y_3+0.3422y_4-7.8148y_1^2-0.4715y_2^2-2.1209y_3^2-0.0595y_4^2$$
 (3)

可见在综合农艺措施条件下,各因素对产量贡献大小的顺序为:密度>磷肥>氮肥>钾肥,因此在试验地条件下,要获得大豆高产必须注意密度与植株的合理分布及磷肥的适量施用。

(三)气象趋势产量模型的建立

用直线回归分析法建立哈尔滨产区大豆趋势产量模型 $\hat{y}_t=138.10-0.601t$,相关系数 $r=|-0.1888|>r_{0.4}(25)=0.1687$,表明大豆单产逐年呈微弱的下降趋势,这是由于近年来产区内土壤肥力水平逐年下降,或者是由于农户依赖大田种植业生存能力减弱造成的。

为了既考虑到不同气象要素在不同生育时段对产量的作用,又使模型较为准确、稳定地预报大豆的气象产量,用逐步回归分析法建立气象产量模型 $\hat{y}_w=a_2+\sum C_nQ_n$ (表3)。

由于作物亩产的估计值 $\hat{y}_t=\hat{y}_t+\hat{y}_w$,从而建立起哈尔滨产区大豆气象趋势产量模型:

$$\hat{y}_t=304.443-0.601t-9.398T_7+0.198S_7+0.216R_5-0.088R_3$$
 (4)

对(4)式的统计检验结果(表4)表明, \hat{y}_t 与 \hat{y}_t 、 \hat{y}_w 达到显著的线性相关,预测产量与实际产量(即:记载产量)吻合效果较好,图1也可证实这种吻合效果。因此,利用气象趋势产

量模型对产区的大豆平均亩产进行预测是合理的。

表3 气象产量模型及回归系数检验

Table 3 The yield model with meferology and the regression coefficient test

产区 Production region	气象产量模型及回归系数检验 The yield model with meferology and the regression coefficient test	复相关系数 R	F	F _α
哈尔滨 Harbin	$\hat{y}_w=166.343-9.398T_7+0.198S_7+0.216R_5-0.088R_8$ $ t_{\hat{y}_w}^{VVV} =1.629 \quad t_{\hat{y}_w}^{VV} =1.293$ $ t_{\hat{y}_w}^V =1.001 \quad t_{\hat{y}_w} =1.202$	0.462	1.493	$F_{0.05}(4,22)$ $=1.45$

注: V, V V, V V V 分别为0.4, 0.3, 0.2水平上显著。

表4 模型 $\hat{y}_t=\hat{y}_i+\hat{y}_w$ 的统计检验表

Table 4 Statistical test table from $\hat{y}_t=\hat{y}_i+\hat{y}_w$ model

产区 Production region	F	F _α	X ²	X ² 临界值 X ² critical value
哈尔滨 Harbin	3.90*	3.40 α=0.05	6.295	$X_{0.01}^2(16)29.63 \quad X_{1-0.01}^2=5.812$

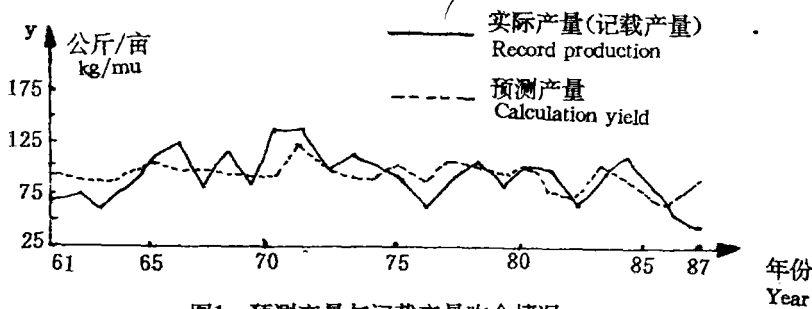


图1 预测产量与记载产量吻合情况

Fig. 1 The fally of the calculation yield and record yield

(四)具体产地产量预测预控模型的研究

由哈尔滨产区的大豆气象趋势产量模型可知趋势产量的年际间变化率 $b_1=-0.601$, 7月份平均气温 T_7 、7月份日照时数 S_7 、5月份降雨量 R_5 、8月份降雨量 R_8 对产量影响的变化率分别为 $C_1=-9.398, C_2=0.198, C_3=0.216, C_4=-0.088$ 。

由于模型(2)是在1987年的具体条件下建立的,所以趋势产量的变化量 K_1 为欲预测那年的年份(公元年号后两位数)减去试验年份(87)后再乘以 b_1 ;气象产量的变化量 K_2 为欲预测那年气象趋势产量模型中的气象要素值减去1987年哈尔滨产区相应的气象要素值所得的差值与相应的气象要素对产量影响的变化率相乘积的代数。在此 $K_1=-0.601(t-87), K_2=-9.3988(T_7-21.7)+0.198(S_7-253)+0.216(R_5-39)-0.088(R_8-188)$ 。

调整参数 $K=K_1+K_2$ 。

于是香坊试验站(或与之具有相似条件的产地)的大豆产量预测预控模型为 $\hat{y}_t=\hat{y}_s+K$, 该模型具体表示为:

$$\hat{y}_t=239.4375-5.3271X_2+2.8646X_4-7.6964X_1^2-1.7089X_3^2-0.601(t-87)-$$

$$9.3988(T_7 - 21.7) + 0.198(S_7 - 253) + 0.216(R_5 - 39) - 0.088(R_8 - 188) \quad (5)$$

利用(5)式可进行产量预测。曾对1986年大豆栽培试验区进行过预测:

将 $t=86$ (年)、 $T=22.2(^{\circ}\text{C})$ $S_7=216.3$ (小时) $R_5=16$ (mm) $R_8=225$ (mm) $X_1=-0.86$ (21.4株/ m^2) $X_2=-0.33$ (5公斤/亩) $X_3=-0.33$ (10公斤/亩) $X_4=-1.167$ (5公斤/亩)代入(5)式得 $\hat{y}_t=212.38$ 公斤/亩,该试验区实测产量为202.05公斤/亩,二者相对误差为5.1%,从而验证了用(5)式进行预测的可靠性。

利用模型(5)还可以进行产量预控。通过中长期天气预报可知模型中各气象要素的估计值,于是 K 可知,又由于 \hat{y}_t 是预先给定的指标,于是 \hat{y}_s 可知($\hat{y}_s=\hat{y}_t-K$),然后可通过综合技术措施频数分析表查得与之相应的密度、氮肥、磷肥、钾肥的农艺措施组合方案。可以认为,随着中长期天气预报准确程度的提高,用这类模型进行产量的预控预报将成为可操作性的方法。

三、结 论

1. 在哈尔滨地区肥沃的土壤条件下,绥农4号的最佳农艺措施组合方案为:亩保苗1.92~2.01万株,每亩施尿素3.72~4.61公斤,三料磷10.80~12.81公斤,硫酸钾12.70~14.73公斤,采用此方案达到225公斤以上的亩产水平的可能性为95%。

2. 在哈尔滨地区肥沃的土壤条件下栽培因素对产量影响的顺序是密度>磷肥>氮肥>钾肥。在生产上为获高产,应注意密度与植株的合理分布及磷肥的适量施用。

3. 建立了哈尔滨产区的大豆气象趋势产量模型,经验证用该模型进行大豆单产预测是合理的,并在此基础上建立了具体产地大豆产量预测预控数学模型,探讨了大豆产量预测预控模型的建立方法。如果在其它产地,使用其它品种,则只要在当地重新建立一个栽培主干模型,用本研究所采用的方法求得气象因素和趋势产量的调整参数 K ,将 K 挂接到栽培模型上,便可以得到这一产地具体品种的大豆产量预测预控模型。

参 考 文 献

- [1] 徐中儒等,1985,大豆高产栽培综合农艺措施数学模型的研究,东北农学院学报,Vol.16(1),25~35
- [2] 张瑞忠等,1984,超早熟大豆东农36号综合农艺措施的产量函数模型,大豆科学,Vol.3(4),302~312
- [3] 丁希泉等,1984,大豆干物质重量与水分、肥料、密度等栽培因素间的数学模型研究,中国油料,(4),39~44
- [4] 庄郁华,1980,回归设计方法在农业科研中的应用,涟水科技,(1),1~7
- [5] 赵干清,1985,大豆产量与气象因素的统计学分析,农业科技,(2)
- [6] 冯定原、夏海峰,1983,几种产量资料处理方法的比较,农业气象预报文集,气象出版社
- [7] 王魏棠,1983,农业气象作物产量预报概述,气象科技,(2)

STUDY ON THE MATHEMATICAL MODEL FOR FORECASTING AND CONTROLLING OF SOYBEAN

Liu Zhifang

(*Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences*)

Abstract

The synthetic efficiency model which concerns four factors (X_1 : density; X_2 : nitrogen; X_3 : phosphorus; X_4 : potassium) is established with rotational design of orthogonal regression of quaternary quadratic form. The agronomical synthetic plan which the land can produce more than 225 kg/mu was selected, and the efficiency of every single factor and their interaction for every agronomical practice were analysed by using the simulation of computer. The order of the four factors that contribute to the yield is: $X_1 > X_2 > X_3 > X_4$.

The models of meteorological trend of the yield are also established for a special region by means of regressive analysis of the historic data (annual average yield from 1961 — 1987 and monthly average temperature, sunshine hours and rainfall from May to September during the same time.) in same regions. We also explored the method of introducing meteorological factors into the cultural model of forecasting and controlling for soybean in some special regions.

Key words Soybean; Yield; Mathematical model; Forecasting and controlling