

高蛋白大豆黑农 34 高产综合技术 产量函数模型研究

胡立成 姚 远 董丽华 郭宇虹

(黑龙江省农业科学院大豆研究所)

摘要 本文对高蛋白大豆黑农 34 高产栽培综合农艺措施进行了探讨,并通过田间试验测定参数,建立函数模型。使用微机及我所编制的程序,解析了密度(X_1)、氮肥(X_2)、磷肥(X_3)、钾肥(X_4)等主要因素间相互效应及产量的关系,提出了大豆高产最佳综合农艺措施,为大豆高产计划栽培提供了科学依据。

高蛋白大豆品种黑农 34 是黑龙江省农科院大豆所育成的,该品种生育期 120 天左右,活动积温 $2,450^{\circ}\text{C}$ 属中熟种,蛋白质含量 45.16%,是我省第一个在生产上大面积应用的蛋白含量超过 45% 的品种,这是我省“七、五”期间高蛋白育种的一大突破。这个新品种除高产高收益外,每亩还比我省各地通用的品种平均多收粗蛋白 14 公斤。目前已开始大面积推广,为了达到良种良法一起推的目的,我们在繁殖该品种的同时,进行了综合栽培技术的研究。

本文根据黑龙江省农科院大豆研究所田
表 1

因素水平线性编码表

| 因素 | 零水平 | 间距 | 水平与线性编码($r=2$) | | | | |
|-------------|----------------------|-----|------------------|-----|----|-----|----|
| | | | 1 | 2 | 0 | 1 | 2 |
| X_1 (密度) | 35(株/ M^2) | 10 | 15 | 25 | 35 | 45 | 55 |
| X_2 (尿素) | 2.25(kg/亩) | 2.5 | 0 | 2.5 | 5 | 7.5 | 10 |
| X_3 (三料磷) | 6(kg/亩) | 6 | 0 | 6 | 12 | 18 | 24 |
| X_4 (硫酸钾) | 2.25(kg/亩) | 5 | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 |

* 肥料量为亩施纯量(尿素养含 N46%,三料磷含 P_2O_5 47%,硫酸钾含 K_2O 50%)

设计要求共设 36 小区,即 $N=36, m_1=16, m_2=10, m_3=10$, 采用 70 厘米行距, 5 株

间试验测得的参数,通过 APPLE-Ⅱ 微机,使用“旋转设计试验数据处理程序”建立产量函数模型,并在微机上演释各因素对产量的作用,寻找黑农 34 大豆高产最佳农艺组合和最优良条件,为迅速推广扩大该品种的面积,提高产量,进行计划栽培提供科学依据。

一、试验设计及条件

田间试验采用二次回归正交旋转组合设计。选定主要因素是以密度、氮肥、磷肥和钾肥为决策变量。各因素水平与编码(表 1)按

区, 垄长 6 米, 小区面积为 21 平方米。全部小区分三个正交区组, 区组内随机排列。

二、试验结果与统计

试验地为川地黑土, 地力均匀肥沃, 0~30 厘米耕层全氮(%)为 0.213, 全磷(%)为 0.108, 全钾(%)2.453, 碱解氮(毫克/100 克土)19.17, 速效磷(毫克/100 克土)9.40, 速效钾(毫克/100 克土)18.23, 有机质(%)为 2.78, pH7。前茬小麦, 秋翻秋耙秋起垄, 人工等距点播, 三铲三趟, 生育后期拿大草, 防治蚜虫、食心虫。

据试验结果(表 2), 使用旋转设计试验数据处理程序, 在 APPLE-Ⅱ 微机上直接运算得出大豆产量与各因素间回归模型为:

$$y = 319.975 - 17.8333x_1 + 9.8167x_2 - 6.2083x_3 - 11.0833x_4 + 1.7125x_1x_2 + 11.675x_1x_3 + 6.3375x_1x_4 + 13.0125x_2x_3 + 14.65x_2x_4 - 4.1125x_3x_4 - 27.8375x_1^2 + 2.525x_2^2 + 2.675x_3^2 + 16.975x_4^2 \quad (1)$$

表 2 结构矩阵与产量结果

| 区号 | X ₁ | X ₂ | X ₃ | X ₄ | y | 区号 | X ₁ | X ₂ | X ₃ | X ₄ | y |
|----|----------------|----------------|----------------|----------------|-------|----|----------------|----------------|----------------|----------------|-------|
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 321 | 19 | 0 | 2 | 0 | 0 | 350.3 |
| 2 | 1 | 1 | 1 | -1 | 342.9 | 20 | 0 | -2 | 0 | 0 | 341.4 |
| 3 | 1 | 1 | -1 | 1 | 307.5 | 21 | 0 | 0 | 2 | 0 | 329.5 |
| 4 | 1 | 1 | -1 | -1 | 239.1 | 22 | 0 | 0 | -2 | 0 | 363.4 |
| 5 | 1 | -1 | 1 | 1 | 234.8 | 23 | 0 | 0 | 0 | 2 | 386.6 |
| 6 | 1 | -1 | 1 | -1 | 276.9 | 24 | 0 | 0 | 0 | -2 | 420.7 |
| 7 | 1 | -1 | -1 | 1 | 261.8 | 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 373.8 |
| 8 | 1 | -1 | -1 | -1 | 314.4 | 26 | 0 | 0 | 0 | 0 | 359.5 |
| 9 | -1 | 1 | 1 | 1 | 314.3 | 27 | 0 | 0 | 0 | 0 | 296.8 |
| 10 | -1 | 1 | 1 | -1 | 333.7 | 28 | 0 | 0 | 0 | 0 | 313.9 |
| 11 | -1 | 1 | -1 | 1 | 346.5 | 29 | 0 | 0 | 0 | 0 | 300.7 |
| 12 | -1 | 1 | -1 | -1 | 355.3 | 30 | 0 | 0 | 0 | 0 | 361.4 |
| 13 | -1 | -1 | 1 | 1 | 269.4 | 31 | 0 | 0 | 0 | 0 | 330.2 |
| 14 | -1 | -1 | 1 | -1 | 317.8 | 32 | 0 | 0 | 0 | 0 | 305.2 |
| 15 | -1 | -1 | -1 | 1 | 297.2 | 33 | 0 | 0 | 0 | 0 | 270.3 |
| 16 | -1 | -1 | -1 | -1 | 370.2 | 34 | 0 | 0 | 0 | 0 | 327 |
| 17 | 2 | 0 | 0 | 0 | 193.9 | 35 | 0 | 0 | 0 | 0 | 293.3 |
| 18 | -2 | 0 | 0 | 0 | 254.9 | 36 | 0 | 0 | 0 | 0 | 307.6 |

为了对回归方程确定实际意义, 检验了模型, 其结果是:

D(zong)=75,906.02 df=35
D(hui)=57,554.3466 df=14
D(sheng)=18,551.6735 df=21
D(wu)=10,825.4026 df=11

D(Lf)=7,526.27086 df=10

F-test

F1=0.764765825(NS)(2.85)

F2=4.70428597(**)(3.07)

通过对方程 F 检验表明, 产量函数回归模型(1)与实际情况拟合较好。试验误差的方差可

取值 $\delta=29.56$, 进一步对回归系数进行 F 与 t 检验, 其结果为:

| b= | F(b)= | t(b)= |
|---------------------------|---------|-----------|
| b ₀ =319.975 | 0 | 0 |
| b ₁ =-17.8333 | 8.7341 | 2.9554 ** |
| b ₂ =9.8167 | 2.6466 | 1.6268 * |
| b ₃ =-6.2083 | 1.0585 | 1.0289 * |
| b ₄ =11.0833 | 3.3736 | 1.8367 * |
| b ₁₂ =1.7125 | 0.0537 | 0.2317 |
| b ₁₃ =11.675 | 2.4956 | 1.5798 * |
| b ₁₄ =6.3375 | 0.7354 | 0.8575 |
| b ₂₃ =13.0125 | 3.1002 | 1.7607 * |
| b ₂₄ =-14.65 | 3.9295 | 1.9823 * |
| b ₃₄ =-4.1125 | 0.3097 | 0.5565 |
| b ₁₁ =-27.8375 | 28.3762 | 5.3269 ** |
| b ₂₂ =2.525 | 0.2335 | 0.4832 |
| b ₃₃ =2.675 | 0.262 | 0.5119 |
| b ₄₄ =16.975 | 10.5515 | 3.2483 ** |

对回归系数 b 进行检验看出, b₁, b₂, b₃, b₄, b₁₃, b₂₃, b₂₄, b₁₁, b₄₄ 在一定水平 (* $\alpha=0.1 \sim 0.4$, ** $\alpha=0.01 \sim 0.05$) 下达到显著或有作用。由于方程拟合较好, 在本文以后的分析中, 对变量不剔除直接用原方程(1)进行优化分析。

三、模型优化与解析

(一) 计算机寻优

求目标函数最优解, 即:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{i < j} b_{ij} x_i x_j + \sum_{j=1}^n b_{jj} x_j^2 \quad (2)$$

目标函数为非线性函数, 约束区域为: $r < x_j < r(r=2) j=1, 2, 3, 4$ 内非线性规划问题。根据高等数学, 欲有极值必满足该函数对各因素一阶偏导数等于零, 即:

$$\frac{\partial y}{\partial x_i} = 0 \quad (3)$$

将回归系数代入(3)得:

$$\begin{aligned} dy/dx_1 &= -17.833 - 55.675x_1 + 1.7125x_2 + 11.675x_3 + 6.3375x_4 \\ dy/dx_2 &= 9.8167 + 1.7125x_1 + 5.05x_2 + 13.0125x_3 + 14.65x_4 \\ dy/dx_3 &= -6.2083 + 11.675x_1 + 13.0125x_2 + 5.35x_3 - 4.1125x_4 \\ dy/dx_4 &= -11.0833 + 6.3375x_1 + 14.65x_2 - 4.1125x_3 + 33.95x_4 \end{aligned}$$

经判定系数矩阵 A 不定, 无极值(y 有稳定点), 在微机上寻求非线性规划的最优解, 即为该品种在综合技术措施下最大生产力, 每亩产量最大值为 $y_{(\max)} = 547.27$, 农艺措施决策变量为: $x_1 = -1, x_2 = -2, x_3 = -2, x_4 = -2$ 。此最优解是在适宜密度下, 通过施肥可能达到的最高产量。但其频率较低, 生产上实际意义不大, 我们寻求的目标函数是生产上有可行性, 而必须考虑经济效益和出现的频率。

通过微机采用步长分析法, 令步长为 1, 产量上限 200 公斤, 下限 150 公斤, 全部方案有 625 个, 等于或大于 200 公斤以上的方案有 82 个(表 3)。经步长分析看出, 黑农 34 要达到亩产 200 公斤, 其农艺措施的变量是: 每亩保苗数 1.9~2.2 万株, 尿素(纯 N)每亩 2~4 公斤, 三料磷(纯 P_2O_5) 5~7 公斤, 硫酸钾(纯 K_2O) 2.25~4.5 公斤。

(二) 主因素分析

为判定每个因素对产量形成的影响, 用微机进行了主元素分析, 把方程(1)右端看作二次型, 经计算得正交变换与标准方程为:

$$\begin{aligned} y_1 &= +0.9779x_1 - 0.1536x_2 + 0.1139x_3 + 0.0752x_4 \\ y_2 &= +0.0313x_1 + 0.7548x_2 + 0.5169x_3 + 0.4026x_4 \\ y_3 &= -0.1906x_1 - 0.5722x_2 + 0.7943x_3 + \end{aligned}$$

$$0.0673x_1 + 5.2906Y_2 + 8.5111Y_3 + 29.326Y_4 + 0.0805x_1 - 0.2786x_2 - 0.2969x_3 + 0.9098x_4 \quad (5)$$

0.9098x₄ (4) 在综合技术措施下,各因素对产量的影响顺序是:密度>钾肥>磷肥>氮肥。
 $Y = 319.975 - 15.0553Y_1 + 16.8794Y_2 + 1.3982Y_3 - 7.8898Y_4 - 29.209Y_1 -$

表 3 黑农 34 亩产 200 公斤以上的综合农艺措施

| 因素 编 码 | x ₁ (密度) | | x ₂ (尿素) | | x ₃ (三料磷) | | x ₄ (硫酸钾) | |
|------------|----------------------|------|---------------------|------|----------------------|------|----------------------|------|
| | 次数 | (%) | 次数 | (%) | 次数 | (%) | 次数 | (%) |
| -2 | 7 | 8.5 | 20 | 24.4 | 21 | 25.6 | 47 | 57.3 |
| -1 | 29 | 35.4 | 13 | 15.9 | 14 | 17.1 | 6 | 7.3 |
| 0 | 35 | 42.7 | 13 | 15.9 | 11 | 13.4 | 2 | 2.4 |
| 1 | 10 | 12.2 | 12 | 14.6 | 14 | 17.1 | 3 | 3.7 |
| 2 | 1 | 1.2 | 24 | 29.3 | 22 | 26.3 | 24 | 29.2 |
| 次数合计 | 82 | | 82 | | 82 | | 82 | |
| \bar{x} | -0.38 | | 0.09 | | 0.02 | | -0.6 | |
| $S\bar{x}$ | 0.0939 | | 0.1726 | | 0.1724 | | 0.198 | |
| 95%置信区间 | -0.562~-0.194 | | -0.2529~0.4237 | | -0.3135~0.3626 | | -0.9857~-0.2095 | |
| 农艺措施 | 19587~22041 (株/亩) | | 2.19~3.03 (公斤/亩) | | 5.06~7.09 (公斤/亩) | | 2.54~4.48 (公斤/亩) | |

在松哈黑土地地区栽培中熟品种黑农 34, 应根据土壤化验结果,合理的施用钾肥和磷肥。首先要正确的决定密度和注意植株的合理分布。在施肥因素中,钾肥对产量影响较大,但

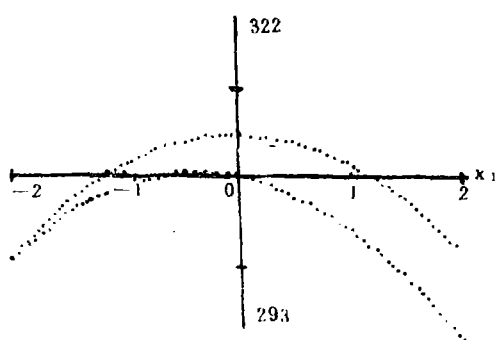


图 1 密度对产量的影响

(三)各因素与产量的关系

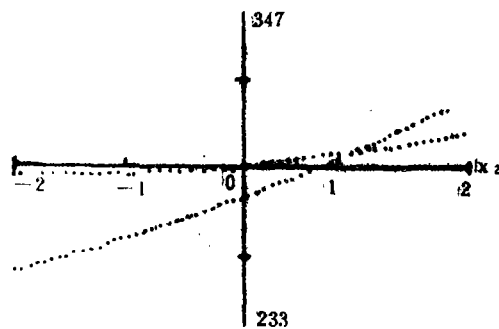


图 2 氮肥对产量的影响

对公式(1)采用“降维法”固定其中三

因素于 0 和 1 水平,探讨一个因素和产量的关系,分别得到下列模型:

$$Y_1 = 319.975 - 17.8333x_1 - 27.8375x_1^2$$

$$Y_1 = 358.225 + 1.8917x_1 - 27.8375x_1^2$$

$$Y_2 = 319.975 + 9.8167x_2 + 2.525x_2^2$$

$$Y_2 = 290.5625 + 39.1917x_2 + 2.525x_2^2$$

$$Y_3 = 319.975 - 6.2083x_3 + 2.675x_3^2$$

$$Y_3 = 315.2375 + 14.3667x_3 + 2.675x_3^2$$

$$Y_4 = 317.975 - 11.0833x_4 + 16.975x_4^2$$

$$Y_4 = 309.5125 + 5.7917x_4 + 16.775x_4^2 \quad (6)$$

运用“旋转设计试验数据处理程序”直接图示每个因素与产量的关系(图 1、2、3、4)。

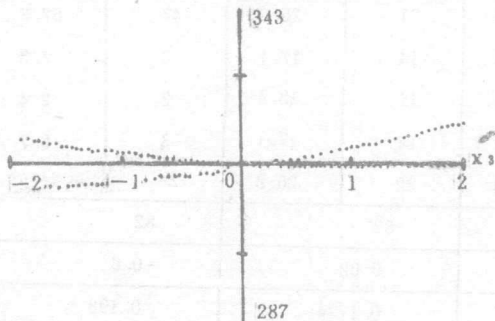


图 3 磷肥对产量的影响

从图 1~4 看出,在 $-2 \leq x_1 \leq 2$, 黑农 34 密度和产量呈抛物线关系,曲线峰点在 $-1 < x_1 < 0$ 水平,稀植时产量较低,随密度增加产量增高,到一定的限度后,密度再增加,大豆出现倒伏,产量反而降低。黑农 34 属亚有限中熟品种,喜肥水,在一般中等肥力土壤上,增施氮肥有一定的增产效果。这和高纬高寒地区高蛋白早熟品种相似(张瑞忠 1984),而和中晚熟品种黑农 26 有所不同(胡立成 1986)。在试验中磷肥也有一定的增产效果,不过没有氮肥那样明显。钾肥在无限类型大豆黑 26 上施用有增产效果,但过多产量反而下降,而亚有限品种黑农 34 施用对产量的效果呈反抛物线关系。

(四) 边际产量效应

在农业经济分析时,要探讨产量随各因素水平变化的增产速率。对(6)式中各因素固

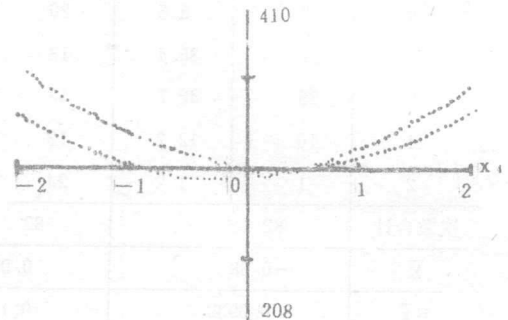


图 4 钾肥对产量的影响

定于 0 水平值的各模型求导:

$$\frac{dy}{dx_1} = -17.8333 - 55.675x_1$$

$$\frac{dy}{dx_2} = 9.8167 + 5.05x_2$$

$$\frac{dy}{dx_3} = -6.2083 + 5.35x_3$$

$$\frac{dy}{dx_4} = -11.0833 + 33.95x_4 \quad (7)$$

将不同编码值代入(7)分别求出不同水平下每个因素的边际产量(表 4),并将对应值绘于图 6 看出,单因素对产量影响速率随水平值而发生变化,有的下降,有的上升。如 x_1 边际产量开始为正值随其量的增加,产量逐渐降低。 x_4 边际产量开始为负值随 x_4 量的增加产量有提高,而 x_2, x_3 增量变化较平缓,产量提高不明显。

表 4

大豆边际产量

| 因 素 | 编 码 | -2 | -1 | 0 | 1 | 2 |
|---------|-----|--------|--------|--------|--------|---------|
| 密度 | | 93.52 | 37.84 | -17.83 | -73.51 | -129.18 |
| 氮肥(尿素) | | -0.28 | 4.77 | 9.82 | 14.87 | 19.92 |
| 磷肥(三料磷) | | -16.91 | -11.56 | -6.21 | -0.86 | 4.49 |
| 钾肥(硫酸钾) | | -78.98 | -45.03 | -11.08 | 22.87 | 56.82 |

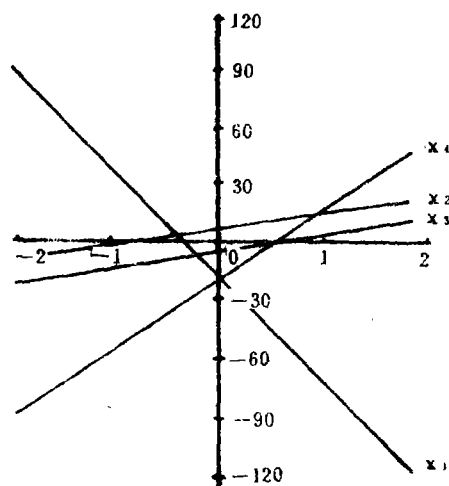


图 5 各因素不同水平下边际产量效应

通过上述分析,可以做出如下经济效益判断。在松哈地区中等肥力土壤上,适宜的密

度大豆产量较高,过密既浪费种子又倒伏减产。在施肥上黑农 34 施用氮肥有一定增产效果,每亩施 8.15 公斤尿素,每斤尿素增产大豆 0.89 公斤,盈利 0.55 元。磷肥在土壤中含量较高时,虽然也有增产趋势,但亏本。钾肥表现不稳定,也抵不上成本。

(五)双因素的交互作用

根据模型(1)对二因素交互作用显著项(x_{13}, x_{23}, x_{24})进行解析,固定其二个因素于 0 水平得到以下交互方程:

$$Y_{13} = 319.975 - 17.8333x_1 - 6.2003x_3 + 11.675x_1x_3 - 27.8375x_1^2 + 2.6752x_3^2$$

$$Y_{23} = 319.975 + 9.8167x_2 - 6.2003x_3 + 13.0125x_2x_3 + 2.525x_2^2 + 2.675x_3^2$$

$$Y_{24} = 319.975 + 9.8167x_2 - 11.0833x_4 + 14.65x_2x_4 + 2.525x_2^2 + 16.975x_4^2 \quad (8)$$

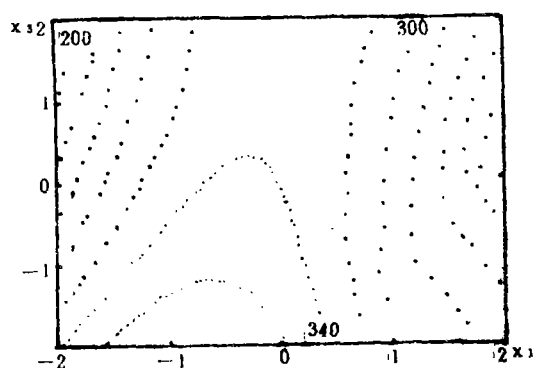


图 6 密度和氮肥的交互作用

根据大豆生产需要确定有参考的产量指

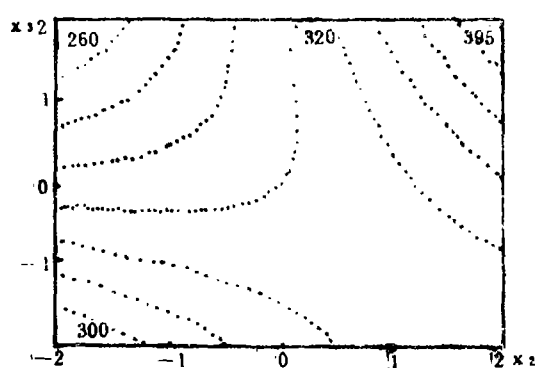


图 7 氮肥和磷肥的交互作用

标,使 y 取不同产量值代入(8)中,可以得到

等产量线图(6~8),这些方程和图反映出二个因素互作和产量的关系。

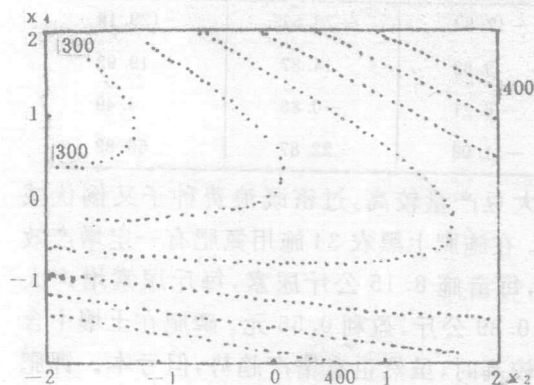


图8 氮肥和钾肥的交互作用

从图6可以看出,氮肥较低情况下,密度增加产量增高,氮肥作用不明显时,密度起决定作用,密度超过0水平后产量逐渐下降。

从图7看出,在多施磷肥的情况下($x_3 > 0$),要配合多施氮肥增产效果明显。

从图8还看出,在 $x_4 > 0$ 时,施钾肥较高时,氮肥增加产量增加, $x_4 < 0$ 等产量线沿氮肥方向平行分布。

四、结 论

1. 在黑土中等肥力条件下,高蛋白品种

(上接52页)

胶稠度100毫米,直链淀粉0%,蛋白质含量7.69%,米质优良,粘性强,食味佳。

三、栽培要点 “龙糯1号”适于早育大苗早插,插秧栽培产量水平7500公斤/公顷,要求中等肥力,公顷施尿素200~250公斤,其中60%作基肥,40%作追肥,每穴插3~4株,公顷保持450~500万穗,插后水层不超过5厘米,促进分蘖,6月末7月初开始水层加深10厘米以控制无效分蘖,并促进幼穗分化,抽穗后间歇灌溉,注意施肥不要过量,水层防止过深而引起贪青晚熟和倒伏及病虫害发生。

四、适应地区 “龙糯1号”适于我省第一积温带和第二积温带上限,活动积温2600℃左右地区插秧栽培。

黑农34一般亩产160公斤。从优化方案看,最高增产潜力可以达到273.7公斤。

2. 在松哈地区中熟品种黑农34栽培因素对产量影响顺序是:密度>钾肥>磷肥>氮肥。

3. 黑农34亩产200公斤以上主要决策因素是:亩保苗1.9~2.2万株,尿素(纯氮)2~3公斤,三料磷(纯 P_2O_5)5~7公斤,硫酸钾(纯 K_2O)2.3~4.5公斤。

4. 在各因素互作效应中,氮磷、氮钾互作明显。在磷肥较高时,配合施用氮肥,对高蛋白品种来说增产效果更好。

5. 通过对边际产量的分析表明,在松哈地区平川中等肥沃的土地上,高蛋白亚有限类型品种施氮肥增产效果明显,每亩施尿素8.15公斤,盈利0.55元。

参 考 文 献

- [1] 张瑞忠等:超早熟大豆东农36综合农艺措施的产量函数模型,大豆科学,1984,第3期
- [2] 胡立成等:旱作条件下“黑农26”大豆高产综合技术数学模型研究,1986,大豆科学,第1期
- [3] Baswell, S. C. et al; 1976, Long-term residual fertility and current N-P-K application effects on soybean. Agro. J. 68(2):315

(省农科院水稻所 刘永年 潘国君)