

文章编号: 1005-0906(2004)02-0060-05

提高玉米子粒脂肪含量关键技术措施研究

吴春胜,王成己,牟金明,贾士芳,谷岩,包岩

(吉林农业大学农学院,吉林 长春 130118)

摘要: 试验采用二次回归正交旋转组合设计方法,以密度、氮肥、磷肥、钾肥和收获期作为决策变量,研究以上5个因素对四密25和吉油1号脂肪含量的影响,通过微机建立数学模型,并对模型进行解析,求出各因子对玉米子粒脂肪含量影响的主次关系及因子间的交互作用,借助微机模拟试验,寻出定量生产水平下的最佳栽培措施,为玉米优质栽培提供依据。

关键词: 玉米;脂肪;回归设计;数学模型

中图分类号: S513.01

文献标识码: A

Key Technological Measures Research on Advancing Corn Grain Fat Content

WU Chun-sheng, WANG Cheng-ji, MOU Jin-ming, et al.

(College of Agronomy, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China)

Abstract: The experiment was conducted with the method of the combination design of orthogonal rotating regression, regarding five main cultivated measures: density of cultivation, nitrogenous fertilizer, phosphate fertilizer, potash fertilizer and harvest-date as decisive varieties. The effects between the above five factors and corn grain fat content of Simi25 and Jiyou No.1 were studied. A mathematical model involving the five cultivated measures affecting the corn fat content was established and analyzed, effects of individual factor and its interaction on the corn grain fat content were determined and the optimum cultivated measures in certain conditions were found in a simulation test. It was available for top quality cultivation of corn.

Key words: Corn; Fat; Regression design; Mathematical model

国内外的研究资料表明^[1~27],禾谷类作物品质及产量与品种类型、栽培技术、种植区域及加工储运条件有密切关系。玉米品质及产量受生态环境(水、光照、温度和土壤等)和栽培措施(密度、播种期、收获期和肥料等)的影响较大。

近年来,有关玉米产量的综合农艺措施函数模型及最佳农艺措施组合方案研究较多^[28~32],但有关脂肪含量的综合农艺措施函数模型及最佳农艺措施组合方案研究却少见报道。所以,本试验结合“十五”国家科技攻关课题,在吉林省中部长春地区对提高玉米脂肪含量模式化栽培进行探索。试验是在影响玉米脂肪含量的多种因素处于正常的情况下,采用五元二次回归正交旋转组合设计方法,研究吉林省中部长春地区黑壤土上,在常规生产条件下,主要栽

培措施(密度、氮肥、磷肥、钾肥和收获期)对玉米脂肪含量的影响,并通过田间小区试验所取得的参数,建立五项主要栽培措施与脂肪含量之间的数学模型,通过微机对模型进行解析,求得各栽培措施在脂肪含量形成中的主次关系及因素间的交互作用,并借助微机进行频率分析,求得预计目标水平下,最佳农艺组合方案和最优化的生产条件,为吉林省中部长春地区玉米优质高效规范化栽培提供参考^[33~35]。

1 材料与方法

供试品种为普通玉米四密25和高油玉米吉油1号。供试土壤主要农艺性状见表1。

表1 供试土壤主要农艺性状

| 指标 | 全氮 (g/kg) | 全磷 (g/kg) | 碱解氮 (mg/kg) | 速效磷 (mg/kg) | 速效钾 (mg/kg) | 有机质 (mg/kg) | pH (水) |
|----|--------------|--------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------|
| 数值 | 1.645 | 0.86 | 120 | 16.5 | 122 | 26.9 | 6.8 |

试验采用二次回归正交旋转组合设计,按照5因素(1/2实施)方案实施,即N=36,其数学模型为:

收稿日期: 2003-07-24

基金项目: 国家“十五”科技攻关项目

作者简介: 吴春胜(1956-),吉林农业大学教授,从事玉米高产优质栽培技术研究。Tel:0431-4532849

$$y=b_0+\sum_{j=1}^m b_j X_j+\sum_{i \Delta j} b_{ij} x_i x_j+\sum_{j=1}^m b_{jj} x_j^2$$

选择玉米种植密度(X_1)、施氮量(X_2)、施磷量(X_3)、施钾量(X_4)、收获期(X_5)作为主要影响目标函数(Y)的决策变量,各因素经无量纲线性代换后的设计水平见表 2。

表 2 决策变量(X)与线性编码值

| 变量(X_i) | 变化间距(X_i) | 设计水平 | | | | |
|--------------|---------------------------|------|------|------|------|------|
| | | -2 | -1 | 0 | 1 | 2 |
| 密度(X_1) | 1.25(万株/hm ²) | 3.50 | 4.75 | 6.00 | 7.25 | 8.50 |
| 纯氮量(X_2) | 90(kg/hm ²) | 0 | 90 | 180 | 270 | 360 |
| 纯磷量(X_3) | 45(kg/hm ²) | 0 | 45 | 90 | 135 | 180 |
| 纯钾量(X_4) | 30(kg/hm ²) | 0 | 30 | 60 | 90 | 120 |
| 收获期(X_5) | 4(日/月) | 15/9 | 19/9 | 23/9 | 27/9 | 1/10 |

注:密度指四密 25 的密度;吉油 1 号的密度分别为 3、4、5、6 和 7 万株/hm²,间距为 1 万株/hm²;两个品种的施肥量与施肥方案都相同。

田间试验(每个品种)设有 36 个小区。小区长 6

m,5 行区设计,行距 0.65 m,小区面积为 19.5 m²,分为 4 个区组,组内随机排列。每区组两边各设两行保护行。除设计方案规定的项目外,各个小区管理技术措施及条件完全一致。

田间试验在吉林农业大学农业试验站试验田中进行。种肥:氮肥(尿素 46-0-0)20%,磷肥(三料磷 0-50-0)100%,钾肥(硫酸钾 0-0-50)50%。2002 年 4 月 28 日播种。各密度严格按播种绳穴播。于苗期定苗,保证每穴 1 株植株。于大喇叭口期追氮肥(尿素)80%,钾肥(硫酸钾)50%。

2 结果与分析

2.1 脂肪含量结果

脂肪含量用索氏法提取,油重法测定^[36,37],其结果见表 3。四密 25 脂肪含量的平均值为 4.62%,吉油 1 号脂肪含量的平均值为 8.05%。

表 3 试验结构矩阵和脂肪含量结果

| 区号 | X_1 | X_2 | X_3 | X_4 | X_5 | 脂肪含量(%) | | 区号 | X_1 | X_2 | X_3 | X_4 | X_5 | 脂肪含量(%) | |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|---------|--------|----|-------|-------|-------|-------|-------|---------|--------|
| | | | | | | 四密 25 | 吉油 1 号 | | | | | | | 四密 25 | 吉油 1 号 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 4.46 | 7.84 | 19 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 4.78 | 8.20 |
| 2 | 1 | 1 | 1 | -1 | -1 | 4.45 | 7.77 | 20 | 0 | -2 | 0 | 0 | 0 | 4.19 | 7.45 |
| 3 | 1 | 1 | -1 | 1 | -1 | 4.52 | 8.28 | 21 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 4.69 | 8.10 |
| 4 | 1 | 1 | -1 | -1 | 1 | 4.43 | 7.59 | 22 | 0 | 0 | -2 | 0 | 0 | 4.15 | 7.19 |
| 5 | 1 | -1 | 1 | 1 | -1 | 4.01 | 7.10 | 23 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 4.46 | 8.06 |
| 6 | 1 | -1 | 1 | -1 | 1 | 4.18 | 7.28 | 24 | 0 | 0 | 0 | -2 | 0 | 4.24 | 7.76 |
| 7 | 1 | -1 | -1 | 1 | 1 | 4.29 | 7.45 | 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 4.39 | 7.70 |
| 8 | 1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 4.22 | 7.38 | 26 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2 | 4.52 | 7.84 |
| 9 | -1 | 1 | 1 | 1 | -1 | 4.81 | 7.84 | 27 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4.70 | 8.04 |
| 10 | -1 | 1 | 1 | -1 | 1 | 4.56 | 7.89 | 28 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4.47 | 7.87 |
| 11 | -1 | 1 | -1 | 1 | 1 | 4.37 | 7.96 | 29 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4.98 | 8.56 |
| 12 | -1 | 1 | -1 | -1 | -1 | 3.70 | 7.14 | 30 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4.80 | 8.10 |
| 13 | -1 | -1 | 1 | 1 | 1 | 4.45 | 7.53 | 31 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4.56 | 7.96 |
| 14 | -1 | -1 | 1 | -1 | -1 | 5.16 | 8.17 | 32 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4.68 | 8.02 |
| 15 | -1 | -1 | -1 | 1 | -1 | 4.18 | 7.27 | 33 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4.34 | 7.94 |
| 16 | -1 | -1 | -1 | -1 | 1 | 3.99 | 7.09 | 34 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4.56 | 7.96 |
| 17 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4.10 | 7.19 | 35 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4.58 | 7.98 |
| 18 | -2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4.12 | 7.47 | 36 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4.61 | 8.01 |

2.2 脂肪含量函数模型

将田间试验所测得的玉米子粒脂肪含量结果,使用“旋转组合设计试验数据的计算程序包”在微机直接计算,可得出玉米种植密度(X_1)、施氮量(X_2)、施磷量(X_3)、施钾量(X_4)、收获期(X_5)与玉米子粒脂肪含量之间的回归数学模型。

四密 25:

$$y=4.621-0.029X_1+0.083X_2+0.144X_3+0.035X_4-0.024X_5+0.094X_1X_2-0.194X_1X_3-0.025X_1X_4+0.040X_1X_5-0.009X_2X_3+0.102X_2X_4+0.063X_2X_5-0.102X_3X_4-0.078X_3X_5+0.026X_4X_5-0.119X_1^2-$$

$$0.025X_2^2-0.041X_3^2-0.059X_4^2-0.033X_5^2 \quad (1)$$

为了确定模型的实际意义,现对模型(1)进行方差分析及 F 检验,检验结果为:

$$D_{总}=3.049 \quad f_{总}=35$$

$$D_{误}=0.281 \quad f_{误}=9$$

$$D_{回}=2.687 \quad f_{回}=20$$

$$D_{剩}=0.362 \quad f_{剩}=15$$

$$D_{拟}=0.081 \quad f_{拟}=6$$

$$F_1=(D_{拟}/f_{拟})/(D_{误}/f_{误})=0.4324 < F_{0.05}(6,9)=3.37$$

$$F_2=(D_{回}/f_{回})/(D_{剩}/f_{剩})=5.5634 > F_{0.01}(20,15)=3.37$$

F 检验的结果表明,由于 F_1 不显著, F_2 达到显

著水平,说明方程与实际情况拟合得较好,具有实际意义。进一步对回归系数进行t检验,其中 t_2 、 t_3 、 t_{11} 、 t_{12} 、 t_{13} 、 t_{24} 、 t_{34} 、 t_{44} 达到极显著水平; t_1 、 t_4 、 t_5 、 t_{15} 、 t_{22} 、 t_{25} 、 t_{33} 、 t_{35} 、 t_{55} 达到显著水平,故可用方程(1)进行分析计算。

吉油1号:

$$y=8.045-0.032X_1+0.189X_2+0.128X_3+0.065X_4-0.025X_5+0.094X_1X_2-0.167X_1X_3+0.021X_1X_4+0.026X_1X_5-0.032X_2X_3+0.131X_2X_4+0.051X_2X_5-0.160X_3X_4-0.022X_3X_5+0.056X_4X_5-0.180X_1^2-0.056X_2^2-0.101X_3^2-0.035X_4^2-0.070X_5^2 \quad (2)$$

为了确定模型的实际意义,现对模型(2)进行方差分析及F检验,检验结果为:

$$D_{总}=4.942 \quad f_{总}=35$$

$$D_{误}=0.330 \quad f_{误}=9$$

$$D_{回}=4.473 \quad f_{回}=20$$

$$D_{剩}=0.468 \quad f_{剩}=15$$

$$D_{拟}=0.138 \quad f_{拟}=6$$

$$F_1=(D_{拟}/f_{拟})/(D_{误}/f_{误})=0.6265 < F_{0.05}(6,9)=3.37$$

$$F_2=(D_{回}/f_{回})/(D_{剩}/f_{剩})=7.1620 > F_{0.01}(20,15)=3.37$$

F检验的结果表明,由于 F_1 不显著, F_2 达到显著水平,说明方程与实际情况拟合得较好,具有实际意义。进一步对回归系数进行t检验,其中 t_2 、 t_3 、 t_{11} 、 t_{13} 、 t_{24} 、 t_{33} 、 t_{34} 、 t_{55} 达到极显著水平; t_1 、 t_4 、 t_5 、 t_{12} 、 t_{22} 、 t_{23} 、 t_{24} 、 t_{44} 、 t_{45} 达到显著水平,故可用方程(2)进行分析计算。

3 模型优化与解析

3.1 模型的最优解

目标函数y的最大值就是模型的理论最优解,通过微机求得四密25的脂肪含量最大值为6.33%,相应的栽培措施为: X_1 (密度)为3.50万株/hm², X_2 (氮肥)为0 kg/hm², X_3 (磷肥)为180 kg/hm², X_4 (钾肥)为0 kg/hm², X_5 (收获期)为9月15日;求得吉油1号的脂肪含量最大值为9.35%,相应的栽培措施为: X_1 (密度)为6.38万株/hm², X_2 (氮肥)为360 kg/hm², X_3 (磷肥)为0 kg/hm², X_4 (钾肥)为120 kg/hm², X_5 (收获期)为9月28~29日。这说明玉米脂肪含量的增值潜力很大,但是这个最优解不一定是生产上的最优解,由于其它原因的随机干扰,如不配合相应的保护措施,则试验频率较低,因此应进一步采用频数分析,求解不同脂肪含量水平的最佳综合栽培措施,则可能更有现实意义。在本试验中,已知决策变量 X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 、 X_5 变化在 $-2 < X_i < 2$ 范围内,取步长为1时,总计有 $5^5=3125$ 个组合方案,对其进行统计选优。

在本试验中,四密25各小区实际脂肪含量都在3.6%以上;高油玉米吉油1号各小区实际脂肪含量都在7.0%以上。在统计选优中,四密25的3125个组合方案中,脂肪含量在4.6%以上的组合出现616次,占总体组合方案的19.7%;吉油1号的3125个组合方案中,脂肪含量在8.0%以上的组合出现382次,占总体组合方案的12.2%(表4、表5)。

表4 四密25脂肪含量在4.6%以上的主要农艺措施

| 编 码 | X_1 (密度) | | X_2 (氮肥) | | X_3 (磷肥) | | X_4 (钾肥) | | X_5 (收获期) | |
|---------------|------------|-----------------------|------------|-----------------------|------------|-----------------------|------------|-----------------------|-------------|-------------|
| | 次数 | 频率(%) | 次数 | 频率(%) | 次数 | 频率(%) | 次数 | 频率(%) | 次数 | 频率(%) |
| -2 | 127 | 20.6 | 84 | 13.6 | 67 | 10.9 | 85 | 13.8 | 130 | 21.1 |
| -1 | 175 | 28.4 | 82 | 13.3 | 60 | 9.7 | 106 | 17.2 | 140 | 22.7 |
| 0 | 175 | 28.4 | 103 | 16.7 | 78 | 12.7 | 154 | 25.0 | 150 | 24.4 |
| 1 | 82 | 13.3 | 153 | 24.8 | 173 | 28.1 | 152 | 24.7 | 118 | 19.2 |
| 2 | 57 | 9.3 | 194 | 31.5 | 238 | 38.6 | 119 | 19.3 | 78 | 12.7 |
| 次数合计 | 616 | | 616 | | 616 | | 616 | | 616 | |
| \bar{x} | | -0.38 | | 0.47 | | 0.74 | | 0.19 | | -0.20 |
| $S_{\bar{x}}$ | | 0.05 | | 0.06 | | 0.05 | | 0.05 | | 0.05 |
| 95%置信区间 | | -0.47~-0.28 | | 0.36~0.58 | | 0.63~0.84 | | 0.08~0.29 | | -0.31~-0.10 |
| 农艺措施 | | 5.41~5.65 | | 212.4~232.2 | | 118.4~127.8 | | 62.4~68.7 | | 21/9~22/9 |
| | | (万株/hm ²) | | (kg/hm ²) | | (kg/hm ²) | | (kg/hm ²) | | (日/月) |

3.2 主成分分析

将前述所建立的回归模型(1)和(2)视为二次型,经主成分分析,得正交变换标准方程如下:

四密25:

$$Y_1=0.72X_1+0.40X_2-0.24X_3-0.51X_4-0.05X_5$$

$$Y_2=-0.29X_1+0.44X_2+0.73X_3-0.42X_4-0.01X_5$$

$$Y_3=0.53X_1-0.57X_2+0.57X_3+0.01X_4+0.26X_5$$

$$Y_4=0.33X_1+0.37X_2+0.28X_3+0.67X_4-0.48X_5$$

$$Y_5=0.06X_1+0.42X_2-0.02X_3+0.35X_4+0.84X_5$$

$$Y'=4.62+0.04Y_1-0.05Y_2+0.16Y_3-0.00Y_4+0.00Y_5-0.21Y_1^2+0.08Y_2^2-0.02Y_3^2-0.08Y_4^2-0.05Y_5^2$$

吉油1号:

$$Y_1=0.78X_1+0.47X_2+0.11X_3+0.25X_4-0.31X_5$$

$$Y_2=-0.23X_1+0.07X_2+0.81X_3+0.49X_4+0.22X_5$$

$$Y_3=0.54X_1-0.44X_2+0.36X_3+0.46X_4+0.42X_5$$

$$Y_4=0.22X_1-0.06X_2-0.27X_3+0.66X_4-0.02X_5$$

$$Y_5=0.09X_1+0.37X_2-0.36X_3+0.22X_4+0.82X_5$$

$$Y'=8.05+0.01Y_1-0.11Y_2+0.19Y_3+0.06Y_4+0.08Y_5-0.25Y_1^2-0.12Y_2^2-0.09Y_3^2+0.08Y_4^2-0.07Y_5^2$$

经分析计算,各因素对脂肪含量的贡献率大小为四密 25:磷肥>氮肥>密度>钾肥>收获期;吉油 1 号:磷肥>氮肥>钾肥>密度>收获期。因此,要想获得高脂肪,就得适当多施磷肥和氮肥。

表 5 吉油 1 号脂肪含量在 8.0%以上的主要农艺措施

| 编 码 | X ₁ (密度) | | X ₂ (氮肥) | | X ₃ (磷肥) | | X ₄ (钾肥) | | X ₅ (收获期) | |
|-------------|--------------------------------------|-------|--|-------|---------------------------------------|-------|--------------------------------------|-------|----------------------|-------|
| | 次数 | 频率(%) | 次数 | 频率(%) | 次数 | 频率(%) | 次数 | 频率(%) | 次数 | 频率(%) |
| -2 | 32 | 8.4 | 36 | 9.4 | 64 | 16.8 | 69 | 18.1 | 47 | 12.3 |
| -1 | 97 | 25.4 | 40 | 10.5 | 74 | 19.4 | 58 | 15.2 | 85 | 22.3 |
| 0 | 134 | 35.1 | 60 | 15.7 | 70 | 18.3 | 37 | 9.7 | 108 | 28.3 |
| 1 | 78 | 20.4 | 110 | 28.8 | 90 | 23.6 | 94 | 24.6 | 87 | 22.8 |
| 2 | 41 | 10.7 | 136 | 35.6 | 84 | 22.0 | 124 | 32.5 | 55 | 14.4 |
| 次数合计 | 382 | | 382 | | 382 | | 382 | | 382 | |
| \bar{x} | -0.00 | | 0.71 | | 0.15 | | 0.38 | | 0.05 | |
| S \bar{x} | 0.06 | | 0.07 | | 0.07 | | 0.08 | | 0.06 | |
| 95%置信区间 | -0.11 ~ 0.11 | | 0.58 ~ 0.84 | | 0.01 ~ 0.29 | | 0.23 ~ 0.53 | | -0.08 ~ 0.17 | |
| 农艺措施 | 4.89 ~ 5.11 (万株/hm ²) | | 232.2 ~ 255.6 (kg/hm ²) | | 90.5 ~ 103.1 (kg/hm ²) | | 66.9 ~ 75.9 (kg/hm ²) | | 22/9 ~ 23/9 (日/月) | |

3.3 单因素分析

多元二次回归模型:

$$y=b_0 + \sum_{j=1}^m b_j X_j + \sum_{i \Delta j} b_{ij} x_i x_j + \sum_{j=1}^m b_{jj} x_j^2$$

模型中固定 m-1 因素,即可导出单变量的回归子模型: $y=a_0+a_{x_s}x_s+a_{x_s^2}x_s^2$

固定其中四个变量的取值水平(如 0 水平),可导出另一个变量的偏回归子模型,进而分析单因素的作用。

四密 25:

$$y_1=-0.119 0x_1^2-0.029 2x_1+4.621 0(x_1,0,0,0,0)$$

$$y_2=-0.025 2x_2^2+0.083 3x_2+4.621 0(0,x_2,0,0,0)$$

$$y_3=-0.041 5x_3^2+0.144 2x_3+4.621 0(0,0,x_3,0,0)$$

$$y_4=-0.059 0x_4^2+0.035 0x_4+4.621 0(0,0,0,x_4,0)$$

$$y_5=-0.032 7x_5^2-0.024 2x_5+4.621 0(0,0,0,0,x_5)$$

吉油 1 号:

$$y_1=-0.180 2x_1^2-0.031 7x_1+8.045 1(x_1,0,0,0,0)$$

$$y_2=-0.056 5x_2^2+0.189 2x_2+8.045 1(0,x_2,0,0,0)$$

$$y_3=-0.101 5x_3^2+0.128 3x_3+8.045 1(0,0,x_3,0,0)$$

$$y_4=-0.035 2x_4^2+0.065 0x_4+8.045 1(0,0,0,x_4,0)$$

$$y_5=-0.070 2x_5^2-0.025 0x_5+8.045 1(0,0,0,0,x_5)$$

分析结果表明,脂肪含量随密度、氮肥、磷肥、钾肥和收获期的增加而增加,在最高值以上脂肪含量随变量的增加而下降,脂肪含量与 5 个栽培因素之间均呈二次抛物线关系(图略)。

3.4 二因素交互作用

在 m 个因素的二次回归方程模型中,固定 m-2 个因素,可得到 2 个因素与指标的回归子模型:

$y=a_0+a_{x_s}x_s+a_{x_i}x_i+a_{x_sx_i}x_sx_i+a_{x_s^2}x_s^2+a_{x_i^2}x_i^2$,由此方程可求出两个因素间的交互作用。

对四密 25 来说,密度和氮肥、密度和磷肥、氮肥和钾肥、磷肥和钾肥之间的交互作用比较明显;对吉油 1 号来说,密度和磷肥、氮肥和钾肥、磷肥和钾肥之间的交互作用比较明显。

3.5 单项栽培因素的边际脂肪含量效应

在农艺经济分析时,需要探讨指标 y 随各因素水平变化的增减速率。当使单项效应的子模型的偏导数等于所加因素的成本时,即可审定经济上最佳施用量。对单项效应分析的各个子模型求一阶偏导数即可求得边际产值效应。将不同编码值代入偏导方程,即可求出不同水平下的边际产值(表 6、表 7)。

四密 25(表 6):

$$dy/dx_1=-0.029-0.238x_1$$

$$dy/dx_2=0.083-0.050x_2$$

$$dy/dx_3=0.144-0.083x_3$$

$$dy/dx_4=0.035-0.118x_4$$

$$dy/dx_5=-0.024-0.065x_5$$

表 6 不同因素对四密 25 脂肪的边际效应

| 因 素 | 编 码 值 | | | | |
|-------|-------|------|-------|-------|-------|
| | -2 | -1 | 0 | 1 | 2 |
| 密 度 | 0.45 | 0.21 | -0.03 | -0.27 | -0.51 |
| 氮 肥 | 0.18 | 0.13 | 0.08 | 0.03 | -0.02 |
| 磷 肥 | 0.31 | 0.23 | 0.14 | 0.06 | -0.02 |
| 钾 肥 | 0.27 | 0.15 | 0.04 | -0.08 | -0.20 |
| 收 获 期 | 0.11 | 0.04 | -0.02 | -0.09 | -0.16 |

吉油 1 号(表 7):

$$dy/dx_1=-0.032-0.36x_1$$

$$dy/dx_2=0.189-0.113x_2$$

$$dy/dx_3=0.128-0.203x_3$$

$$dy/dx_4=0.065-0.070x_4$$

$$dy/dx_5=-0.025-0.140x_5$$

表 7 不同因素对吉油 1 号脂肪的边际效应

| 因素 | 编 码 | | | | |
|-----|------|------|-------|-------|-------|
| | -2 | -1 | 0 | 1 | 2 |
| 密 度 | 0.69 | 0.33 | -0.03 | -0.39 | -0.75 |
| 氮 肥 | 0.42 | 0.30 | 0.19 | 0.08 | -0.04 |
| 磷 肥 | 0.53 | 0.33 | 0.13 | -0.07 | -0.28 |
| 钾 肥 | 0.21 | 0.14 | 0.07 | -0.01 | -0.08 |
| 收获期 | 0.26 | 0.12 | -0.03 | -0.17 | -0.31 |

从表 6 和表 7 可以看出,随着密度、氮肥、磷肥、钾肥和收获期的增加,增产效应递减。

对四密 25 来说,密度在 $-0.12(5.85 \text{ 万株}/\text{hm}^2)$ 水平以下、氮肥在 $1.66(329.4 \text{ kg}/\text{hm}^2)$ 水平以下、磷肥在 $1.73(167.9 \text{ kg}/\text{hm}^2)$ 水平以下、钾肥在 $0.30(69 \text{ kg}/\text{hm}^2)$ 水平以下、收获期在 $-0.37(21/9 \sim 22/9)$ 水平以下即失去增效。

对吉油 1 号来说,密度在 $-0.09(4.91 \text{ 万株}/\text{hm}^2)$ 水平以下、氮肥在 $1.67(329.4 \text{ kg}/\text{hm}^2)$ 水平以下、磷肥在 $0.63(118.4 \text{ kg}/\text{hm}^2)$ 水平以下、钾肥在 $0.93(87.9 \text{ kg}/\text{hm}^2)$ 水平以下、收获期在 $-0.18(22/9 \sim 23/9)$ 水平以下即失去增效。

4 小 结

(1)在吉林省中部长春地区黑壤土上,普通玉米四密 25 的脂肪含量平均值为 4.62%,在试验条件下最大生产潜力为 6.33%;高蛋白玉米吉油 1 号的脂肪含量平均值为 8.05%,在试验条件下最大生产潜力为 9.35%。

(2)高脂肪含量时农艺措施如下:

四密 25($>4.60\%$):密度 5.41 万~5.65 万株/ hm^2 ,氮肥 212.4~232.2 kg/hm^2 ,磷肥 118.4~127.8 kg/hm^2 ,钾肥 62.4~68.7 kg/hm^2 ,收获期在 9 月 21~22 日。

吉油 1 号 ($>8.00\%$):密度 4.89 万~5.11 万株/ hm^2 ,氮肥 232.2~255.6 kg/hm^2 ,磷肥 90.5~103.1 kg/hm^2 ,钾肥 66.9~75.9 kg/hm^2 ,收获期在 9 月 22~23 日。

(3)在吉林省中部长春地区黑壤土上,各因素对脂肪含量的贡献率大小为:

四密 25:磷肥>氮肥>密度>钾肥>收获期。

吉油 1 号:磷肥>氮肥>钾肥>密度>收获期。

(4)试验各因素对脂肪含量的关系均为二次型的抛物线关系。各因素之间都存在一定的交互作用,

对四密 25 来说,密度和氮肥、密度和磷肥、氮肥和钾肥、磷肥和钾肥之间的交互作用比较明显;对吉油 1 号来说,密度和磷肥、氮肥和钾肥、磷肥和钾肥之间的交互作用比较明显。

参考文献:

- [1] 冯 巍. 全国玉米高产栽培技术学术研讨会论文集[C]. 北京: 科学出版社, 1998. 26-31.
- [2] 庄铁成. 玉米育种研究进展[J]. 玉米科学, 1995, 3(1): 53-54.
- [3] 王鹏文. 玉米品质改良的研究现状[J]. 国外农学-杂粮作物, 1996, (3): 9-13.
- [4] 饶大恒, 邹细保. 密度、施肥量和施肥方式对玉米性状及产量影响的研究[J]. 江西农业大学学报, 1993, 15(4): 418-421.
- [5] 王相琴. 不同配方的全元肥对玉米产量与品质的影响[J]. 天津农林科技, 2000, (1): 13-14.
- [6] 王鹏文. 玉米种植密度对产量和品质的影响[J]. 玉米科学, 1996, 4(4): 43-46.
- [7] 王鹏文. 玉米群体光分布特征及其对产量和品质的影响[J]. 华北农学报, 1999, 14(3): 60-64.
- [8] 吴 硕. 玉米连作与长期施肥效应研究 II. 连续施肥对玉米品质及土壤肥力的影响[J]. 辽宁农业科学, 1996, (3): 3-12.
- [9] 傅绍清. 我国玉米子粒脂肪酸含量研究[J]. 作物学报, 1992, 18(3): 222-229.
- [10] 柏光晓. 贵州玉米品种资源的品质分析研究[J]. 贵州农业科学, 1991, (5): 57-59.
- [11] 刘开昌. 高油玉米需磷特性及磷素对子粒营养品质的影响[J]. 作物学报, 2001, 27(2): 267-272.
- [12] 王鹏文. 高油玉米与普通玉米品质的对比研究[J]. 天津农业科学, 2000, 6(4): 16-18.
- [13] 霍仕平. 玉米子粒含油量的研究及其育种进展(综述)[J]. 玉米科学, 1994, 2(3): 75-77.
- [14] 刘治先. 高油玉米 ALEXHO 子粒生长期含油量及其脂肪酸的变化[J]. 玉米科学, 1994, 2(4): 34-36.
- [15] 宋国隆. 高油玉米对肉仔鸡生产性能的作用[J]. 饲料研究, 2000, (1): 36-38.
- [16] 王国峰. 高油 115 引进研究与种植[J]. 玉米科学, 2001, 9(1): 54-56.
- [17] 董树亭. 山东省玉米质量型发展战略探讨[J]. 玉米科学, 2000, 8(1): 3-7.
- [18] 李维岳, 等. 吉林玉米[M]. 长春: 吉林科技出版社, 2000.
- [19] 佟屏亚, 程延年. 玉米生育和产量模型[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1997.
- [20] 王正银, 等. 作物营养与品质[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999.
- [21] Suchi R. Phosphorus-zinc interacting I. Sites of imbecitization of zinc in maize at high level of phosphorus[J]. Plant and Soil, 1975, (43): 639-648.
- [22] Ramamurthy V, Shivashankar H. Residual effect of organic matter and phosphorus on growth, yield and quality of maize (*Zea mays* L.) [J]. Indian J. Agron., 1996, 41 (2): 247-251.
- [23] Yordanov G. Effect of sowing density on grain chemical and technological qualities of waxy maize hybrids [J]. Rastenievni Nauki, 1999, 36(10): 610-613.

(上接第 64 页)

- [24] Gungabissoen T. Interaction of maize actindepolymerising factor with actin and phosphoninxsitides and itsinhibition of plant phospholipase[J]. Plant Journal, 1998, 16(16): 689-696 .
- [25] B. T. 互沙克马德捷 . 磷肥对玉米产量和子粒品质的影响[J] . 农林科技译丛, 1982, (2): 45-47 .
- [26] 刘俊明 . 高产玉米合理施肥及其数学模型[J] . 辽宁农业科学, 1989, (2): 14-18 .
- [27] 姜文斌 . 玉米钾肥肥效的研究报告[J] . 吉林农业科学, 1986, (4): 58-62 .
- [28] 孙酉石 . 玉米主要农艺措施产量函数模型的研究[J] . 吉林农业大学学报, 1987, 9(4): 11-18 .
- [29] 孙酉石 . 回归旋转组合设计方法在玉米模式化栽培研究中的应用[J] . 吉林农业大学学报, 1989, 11(3): 10-13 .

- [30] 孙酉石 . 农业综合开发研究[M] . 长春: 吉林科技出版社, 1991 .
- [31] 王大伟 . 玉米高产栽培综合农艺措施函数模型的研究[D] . 硕士学位论文 . 吉林农业大学, 1992 .
- [32] 闫璇玲 . 玉米高产栽培数学模型及优化方案研究[D] . 硕士学位论文 . 吉林农业大学, 2000 .
- [33] 徐中儒 . 农业试验最优回归设计[M] . 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 1988 .
- [34] 丁希泉 . 农业应用回归分析[M] . 长春: 吉林科技出版社, 1986 .
- [35] 徐中儒 . 回归分析与试验设计[M] . 北京: 中国农业出版社, 1998 .
- [36] 张宪政 . 作物生理研究法[M] . 北京: 农业出版社, 1992 .
- [37] 华东师范大学生物系植物生理教研组 . 植物生理学实验指导 [M] . 北京: 高等教育出版社, 1989 .