

张 毅,张 鹏,柏光晓,等. 玉米品种顺单 7 号密度与肥料调控的数学模型[J]. 江苏农业科学,2013,41(11):74-76.

玉米品种顺单 7 号密度与肥料调控的数学模型

张 毅^{1,2}, 张 鹏¹, 柏光晓², 杨石秀^{2,3}, 黄文彻¹, 任明刚¹

(1. 贵州省安顺市农业科学院, 贵州安顺 561000; 2. 贵州大学农学院, 贵州贵阳 550025;
3. 贵州省六盘水市六枝特区农业局, 贵州六盘水 553400)

摘要:采用 4 因子 5 水平旋转回归组合设计,研究密度及施肥量调控对顺单 7 号产量的影响,建立了产量与各因素的数学回归模型;各因素对产量影响程度大小依次为氮肥 > 密度 > 钾肥 > 磷肥;获得 10 500 kg/hm² 以上目标产量的农艺栽培措施是密度 47 181 ~ 48 819 株/hm²,施 N 162.3 ~ 221.4 kg/hm²,施 P₂O₅ 116.032 5 ~ 153.967 5 kg/hm²,施 K₂O 135.525 ~ 164.7 kg/hm²。

关键词:玉米;顺单 7 号;回归设计;数学模型;产量
中图分类号:S513.06;S513.04 **文献标志码:**A

文章编号:1002-1302(2013)11-0074-03

玉米产量受多种因素的综合影响,其中许多农艺措施如密度和施肥量对玉米产量影响较大。顺单 7 号是贵州省安顺市农业科学研究院玉米研究所针对贵州喀斯特山区生态特征和农业生产实际选育的高产大穗型品种,为进一步探明农艺措施对顺单 7 号产量的影响,笔者在单因子试验的基础上,根据该品种的生育特性和山区的气候生态特点,选择对玉米产量影响较大的密度和施肥量(氮、磷、钾)等因子采用 4 因素 5 水平正交回归旋转组合设计进行高产数学模型研究,通过研究,建立了顺单 7 号高产栽培数学模型,找出了对产量影响较大的主次因素和种植密度、氮、磷、钾合理配比的栽培优化方案,为该品种的大面积推广应用提供科学依据。

1 试验材料与方法

1.1 试验材料

试验品种:顺单 7 号(贵州省安顺市农业科学研究院玉米研究所选育)。

肥料:尿素(含 N 46%),过磷酸钙(含 P₂O₅ 18%),硫酸钾(含 K₂O 50%)。

1.2 试验方法

试验以种植密度、施 N 量、施 P₂O₅ 量和施 K₂O 量为 4 个决策变量因素,采用二次回归正交旋转组合设计方法进行试验^[1-2],其变量设计及编码水平见表 1。共设 36 个处理,小区面积 20 m²,四周设保护行。采用软件 DPS 7.05 版进行统计分析^[3]。

试验于 2012 年在贵州省安顺市农业科学研究院玉米所试验地进行。试验地海拔 1 400 m,土质轻黏,黄壤,前茬空闲。土壤理化指标:pH 值 6.2,有机质 7.4 mg/kg,有效磷 13 mg/kg,有效钾 48 mg/kg,缓效钾 71 mg/kg,碱解氮

表 1 密度与肥料调控试验因素水平编码

水平	因素			
	X ₁ :密度 (株/hm ²)	X ₂ :N (kg/hm ²)	X ₃ :P ₂ O ₅ (kg/hm ²)	X ₄ :K ₂ O (kg/hm ²)
-2	39 000	0	0	0
-1	43 500	75	67.5	75
0	48 000	150	135	150
1	52 500	225	202.5	225
2	57 000	300	270	300

5.7 mg/kg,全氮 1.12 mg/kg,全磷 0.68 mg/kg,全钾 10.7 mg/kg。4 月 25 日播种,磷、钾肥全部作基肥施用;氮肥按底实肥:提苗肥:攻苞肥=3:2:5 施用,其他栽培管理措施与大田生产相同,成熟后分小区收获计产。

2 结果与分析

2.1 产量与各因素间回归模型的建立

产量结果见表 2。根据各处理产量结果,应用二次回归正交旋转组合设计的原理进行回归统计分析^[4-6],得出产量与各因素间的回归数学模型:

$$y = 11\ 649.737\ 50 + 143.670\ 83x_1 + 246.225\ 00x_2 + 93.712\ 50x_3 + 91.787\ 50x_4 - 690.790\ 63x_1^2 - 411.934\ 38x_2^2 - 225.565\ 63x_3^2 - 393.790\ 63x_4^2 + 78.118\ 75x_1x_2 + 36.843\ 75x_1x_3 - 54.993\ 75x_1x_4 + 31.068\ 75x_2x_3 - 68.831\ 25x_2x_4 - 128.993\ 75x_3x_4。$$

2.2 回归模型的统计性检验

为了确定回归方程的实际意义,对数学模型进行 F 检验,失拟比值 $F_1 = 1.528 < F_{0.05}(10,11) = 2.85$,未达显著水平,说明除试验所涉及的因素之外的其他未控因素对试验的影响不显著; $F_2 = 8.356 > F_{0.01}(14,21) = 3.07$,达到极显著水平,说明试验建立的产量目标函数回归方程与实际情况拟合较好,可用该回归方程进行试验因素与产量的效应分析和模拟寻优。若以 $\alpha = 0.1$ 为标准,剔除不显著回归项,简化后的回归方程:

$$y = 11\ 649.737\ 5 + 246.225x_2 - 690.790\ 63x_1^2 - 411.934\ 38x_2^2 - 225.565\ 63x_3^2 - 393.790\ 63x_4^2。$$

收稿日期:2013-04-20

基金项目:贵州省科技攻关项目(编号:黔科合成字[2011]5030);贵州省重大专项(编号:黔科合重大专项[2011]6012)。

作者简介:张 毅(1978—),男,贵州凤岗人,硕士研究生,助理研究员,从事玉米育种与栽培研究。E-mail:78121778@163.com。
通信作者:柏光晓(1963—),女,教授。E-mail:xiaobg06@163.com。

表 2 密度和肥料调控试验方案及结果

处理号	x_1	x_2	x_3	x_4	产量 (kg/hm ²)
1	1	1	1	1	10 671.75
2	1	1	1	-1	10 600.65
3	1	1	-1	1	10 389.30
4	1	1	-1	-1	10 310.40
5	1	-1	1	1	10 352.85
6	1	-1	1	-1	10 275.60
7	1	-1	-1	1	10 051.35
8	1	-1	-1	-1	9 906.15
9	-1	1	1	1	9 864.60
10	-1	1	1	-1	9 988.95
11	-1	1	-1	1	9 732.45
12	-1	1	-1	-1	9 496.35
13	-1	-1	1	1	9 622.10
14	-1	-1	1	-1	9 865.65
15	-1	-1	-1	1	10 421.25
16	-1	-1	-1	-1	9 037.10
17	2	0	0	0	8 398.20
18	-2	0	0	0	8 938.95
19	0	2	0	0	10 880.75
20	0	-2	0	0	8 687.25
21	0	0	2	0	10 617.30
22	0	0	-2	0	10 441.65
23	0	0	0	2	1 0001.10
24	0	0	0	-2	9 712.05
25	0	0	0	0	11 125.95
26	0	0	0	0	11 330.70
27	0	0	0	0	11 971.05
28	0	0	0	0	11 878.50
29	0	0	0	0	12 405.85
30	0	0	0	0	11 579.70
31	0	0	0	0	11 531.40
32	0	0	0	0	11 985.45
33	0	0	0	0	11 793.00
34	0	0	0	0	11 622.75
35	0	0	0	0	10 675.10
36	0	0	0	0	11 897.40

2.3 试验因素与产量的关系

2.3.1 单因素效应分析 本试验中 4 个主因素密度(x_1)、氮肥(x_2)、磷肥(x_3)、钾肥(x_4)处理都经过无量纲编码,偏回归系数已基本标准化,故可直接利用一次项系数的大小比较各因素对产量作用的重要程度。由回归模型看出试验的 4 个因素对产量贡献的大小顺序为 $x_2 > x_1 > x_3 > x_4$,证明在顺单 7 号高产栽培中,起增产作用的主要因素是氮肥、密度,其中以氮肥效应最大,合理密植,施足氮肥,合理磷、钾肥有利于夺取高产。

采用降维法得出其他因素水平固定为零时各因素的一元回归方程为:

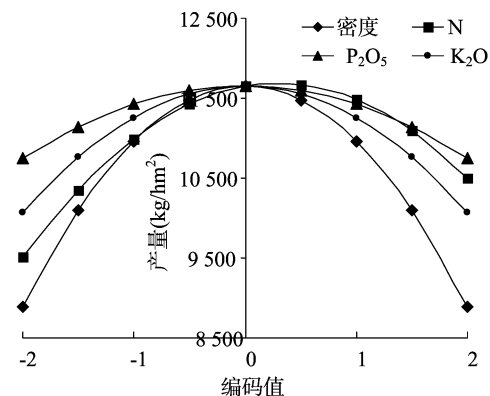
$$y_1 = 11\,649.737\,50 + 143.670\,83x_1 - 690.790\,63x_1^2;$$

$$y_2 = 11\,649.737\,50 + 246.225\,00x_2 - 411.934\,38x_2^2;$$

$$y_3 = 11\,649.737\,50 + 93.712\,50x_3 - 225.565\,63x_3^2;$$

$$y_4 = 11\,649.737\,50 + 91.787\,50x_4 - 393.790\,63x_4^2。$$

各试验因素与产量均呈抛物线关系,说明试验因素在低水平时产量随因素水平的增加而增加,但超过一定值(即抛物线的顶点)后,产量则随因素水平的增加而降低(图 1)。在低密度水平下,产量随着密度的增加而逐步增加,当达到 0.103 99 水平时密度为 48 467.955 株/hm²,产量最高为 11 657.21 kg/hm²,之后随 x_1 的增加产量降低。在低氮水平为 -2 ~ 0.298 864 范围内,产量随施氮量的增加而提高,在 0.298 864 水平时施氮量为 172.414 8 kg/hm²,达最高值 11 686.53 kg/hm²。在低磷水平下,产量随磷肥的增加而逐步提高,在 0.207 728 水平时磷肥量为 1 491.064 kg/hm²,产量达最高 11 659.47 kg/hm²,以后随磷肥的增加产量反而下降。在低钾水平下,产量随钾肥施用量的增加而增加,在 0.116 544 水平时钾肥施用量为 158.740 8 kg/hm²,产量达最高 11 655.09 kg/hm²,以后随钾肥的增加产量反而下降。

图 1 密度(x_1)、施氮量(x_2)、施磷量(x_3)、施钾量(x_4)与产量的关系

2.3.2 试验因素增产速率 对试验因素效应分别求一阶导数,得出一组偏导函数:

$$dy_1/dx_1 = 143.670\,83 - 1381.58x_1;$$

$$dy_2/dx_2 = 246.225\,00 - 823.869x_2;$$

$$dy_3/dx_3 = 93.712\,50 - 451.131x_3;$$

$$dy_4/dx_4 = 91.787\,50 - 787.581x_4。$$

将各因素各水平的编码值分别代入相应的新方程中,求得各因素不同水平的边际产量,如表 3。

表 3 顺单 7 号各因子不同水平下的边际产量

试验因素	各水平边际产量(kg/hm ²)				
	-2	-1	0	1	2
x_1	2 906.833 1	525.252 0	143.670 8	-1 237.910	-2 619.49
x_2	1 893.963 1	070.094 0	246.225 0	-577.644	-1 401.51
x_3	9 95.975	544.843 8	93.712 5	-357.419	-808.55
x_4	1 666.950	879.368 8	91.787 5	-695.794	-1 483.38

从表 3 可以看出,各因素对产量的影响程度在 -2 到 -1 水平内,依次为 $x_1 > x_2 > x_4 > x_3$;在 0 水平则为 $x_2 > x_1 > x_3 > x_4$;在 -2 到 0 水平范围内,各因素均对产量的提高有正向作用;其中, x_1 对产量影响最大,在 -2 到 1 水平效果最显著,在 -2 到 0 水平,每增加 1 个编码值,平均增加 1 381.581 kg/hm²,但最高值应控制在 0.103 99 范围内; x_2 对产量影响较大,在 -2 到 0 水平内,每增加 1 个编码值,产量平均增加 823.869 kg/hm²,最高值应控制在 0.298 864 水平内; x_4 对产量的影响也较大,在 -2 到 0 水平内,每增加 1 个

编码值,产量平均增加 787. 581 2 kg/hm²,最高值应控制在 0. 116 544 水平内;最小为 x_3 ,在 -2 到 0 水平内,每增加 1 个编码值,产量平均增加 451. 131 2 kg/hm²,最高值应控制在 0. 207 728 水平内。

2.3.3 交互作用与产量的关系 回归分析表明,在产量效应函数中,各试验因素之间均存在一定的两两互作效应。将两

个交互因子同时处于 -2、-1、0、1、2 水平值时的产量列于表 4。从表 4 可以看出,密度(x_1)与氮肥(x_2)在 -2 到 0 水平的设计范围内,产量随 x_1x_2 的增加而提高,超过 1 水平后则随 x_1x_2 的增加而下降。其余因素(x_1x_3 、 x_1x_4 、 x_2x_3 、 x_2x_4 、 x_3x_4)与 x_1x_2 互作相近,均在 -2 到 0 水平内,产量随因素水平增加而提高,超过 0 水平,产量随因素水平增加而下降。

表 4 交互作用与产量的关系

试验因素	产量(kg/hm ²)				
	-2	-1	0	1	2
x_1x_2	6 746. 387 5	10 300. 787 5	11 649. 737 5	10 793. 238	7 731. 287 5
x_1x_3	7 984. 312 5	10 733. 381 2	11 649. 737 5	10 733. 381	7 984. 312 5
x_1x_4	7 311. 412 5	10 565. 156 2	11 649. 737 5	10 565. 156	7 311. 412 5
x_2x_3	9 592. 187 5	11 258. 462 5	11 649. 737 5	10 766. 013	8 607. 287 5
x_2x_4	8 919. 287 5	11 090. 237 5	11 649. 737 5	10 597. 788	7 934. 387 5
x_3x_4	9 172. 312 5	11 030. 381 2	11 649. 737 5	11 030. 381	9 172. 312 5

2.4 高产的频数统计分析

频数分布如表 5 所示,在 4 个参试因素 5 个处理水平的 625 个方案中,产量≥10 501. 68 kg/hm² 的有 43 个组合,占有组合方案的 6. 88%。统计分析得出产量大于

10 501. 68 kg/hm² 的农艺措施优化组合方案为密度 47 181 ~ 48 819 株/hm², N 为 156. 15 ~ 185. 7 kg/hm²、P₂O₅ 为 116. 032 5 ~ 153. 967 5 kg/hm²、K₂O 为 135. 525 ~ 164. 7 kg/hm²。

表 5 试验各因素产量≥10 501. 68 kg/hm² 时的取值频率分布

水平	x_1	x_2	x_3	x_4
-2	0	0	2	0
-1	8	5	11	9
0	27	21	17	25
1	8	17	11	9
2	0	0	2	0
频数合计	43	43	43	43
加权均数	0	0. 279	0	0
标准误	0. 093	0. 1	0. 143	0. 099
95% 的分布区间	-0. 364	-0. 558	-0. 562	-193. 193
相应农艺措施	47 181 ~ 48 819 株/hm ²	162. 3 ~ 221. 4 kg/hm ²	116. 032 5 ~ 153. 967 5 kg/hm ²	135. 525 ~ 164. 7 kg/hm ²

3 小结与讨论

通过试验建立了顺单 7 号产量与种植密度、氮、磷、钾肥施用量的数学回归模型。结果表明,试验因素对产量的影响具有一定的相互促进和相互抑制作用,4 个因素与产量均呈抛物线关系;各因素对产量影响的大小顺序为氮肥 > 密度 > 磷肥 > 钾肥。在该品种推广应用中,合理控制种植密度,适当增施氮肥,合理施用磷、钾肥,可获得高产。

经过计算机模拟寻优,选出了农艺措施栽培优化方案。在正常气候条件下,在安顺地区及相似生态区域实现产量 10 500 kg/hm² 以上的主要农艺措施栽培模式:种植密度 47 181 ~ 48 819 株/hm²,施 N 量 162. 3 ~ 221. 4 kg/hm²,施 P₂O₅ 量 116. 032 5 ~ 153. 967 5 kg/hm²,施 K₂O 量 135. 525 ~ 164. 7 kg/hm²。

参考文献:

[1] 丁希泉. 农业应用回归设计[M]. 长春:吉林科学技术出版社, 1986:134 - 150.

[2] 周 汇. 运用二次正交旋转组合回归设计组建作物栽培数学模型——Ⅱ. 二次正交旋转组合回归设计的步骤(下)[J]. 云南农业科技,1988(6):26 - 28.

[3] 唐君义,冯明光. 实用统计分析及其 DPS 数据处理系统[M]. 北京:科学出版社,2002:159 - 163.

[4] 黄文彻,王永华,潘中涛,等. 杂交玉米“安单 4 号”高产栽培数学模型研究[J]. 湖南农业科学,2008(6):46 - 48.

[5] 杨远平,罗仕文,梁黔云,等. 毕单 18 号玉米高产栽培技术[J]. 江苏农业科学,2012,40(11):95 - 97.

[6] 谢 冰,柯永培,袁继超,等. 攀西地区优质玉米品种正红 211 高产高效栽培模式研究[J]. 玉米科学,2007,15(3):107 - 109,132.