

# 种植密度和肥料施用量对桂单 0811 产量的影响

苏义成, 田树云, 文仁来\*, 何静丹, 苏月贵, 何雪银, 杨萌, 黄开健

(广西壮族自治区农业科学院玉米研究所, 广西南宁 530007)

**摘要** [目的]为推进桂单 0811 在广西的大面积推广种植和应用提供科学依据。[方法]以桂单 0811 为供试材料, 采用 416-B 回归最优设计, 分别于 2015 上半年和 2015 下半年试验种植两季, 研究玉米新品种桂单 0811 产量与氮、磷、钾肥施用量及种植密度 4 因素的关系, 建立产量的肥密方程, 分析各因素对桂单 0811 产量影响的主效应及互作效应。[结果]4 个因素变化的效应曲线均为抛物线, 对桂单 0811 产量的影响由大到小依次为种植密度、氮肥施用量、磷肥施用量、钾肥施用量; 通过对回归模型的分析, 筛选确定了桂单 0811 实现产量高于 9 300 kg/hm<sup>2</sup> 的密度与肥料耦合优化技术方案, 合理种植密度为 69 321~90 000 株/hm<sup>2</sup>, 适宜纯氮、磷和钾施用量分别为 112.50~186.60、37.50~62.25、93.75~155.55 kg/hm<sup>2</sup>。[结论]桂单 0811 较耐密, 密度在 75 000、81 000、87 000、93 000 株/hm<sup>2</sup> 时产量差异不显著, 但考虑到广西玉米的生产条件, 在大面积推广示范中推荐采用 63 000~69 000 株/hm<sup>2</sup> 的种植密度。

**关键词** 桂单 0811; 玉米; 种植密度; 肥料施用量

**中图分类号** S513 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2017)36-0024-05

## Effects of Planting Density and Fertilizer Application on the Yield of Guidan 0811

SU Yi-cheng, TIAN Shu-yun, WEN Ren-lai\* et al (Maize Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning, Guangxi 530007)

**Abstract** [Objective] To provide scientific basis for the large-area planting and application of Guidan 0811 in Guangxi. [Method] With Guidan 0811 as the test materials, 416-B regression optimum design was adopted. Guidan 0811 was planted in spring and autumn 2015, so as to research the relationship between yield of Guidan 0811 and N, P and K dosage and planting density. The fertilizer and density equation were established; and the main effect and interaction effect of the four factors on yield were analyzed. [Result] All the 4 factors performed upward parabolic change, and their influences on Guidan 0811 yield of in the two seasons from big to small were in the order of density, N fertilizer, P fertilizer and K fertilizer. Analysis of regression model showed that the optimum planting density was 69321-90000 plants/hm<sup>2</sup> and N, P and K fertilizer levels were 112.50-186.60, 37.50-62.25 and 93.75-155.55 kg/hm<sup>2</sup>, respectively. [Conclusion] Guidan 0811 is tolerant to high density planting, and there is not significant differences in yield among the densities of 75 000, 81 000, 87 000 and 93 000 plants/hm<sup>2</sup>. However, considering the planting condition of corn in Guangxi, the density of 63 000-69 000 plants/hm<sup>2</sup> was recommended for Guidan 0811 in the large-scale promotion and demonstration.

**Key words** Guidan 0811; Corn; Planting density; Fertilizer application dosage

玉米是广西重要的粮食作物, 玉米种植密度的大幅度提高是玉米增产的一个重要原因。在增大密度后的群体条件下, 如何协调个体与群体的关系、构建高产体系, 成为玉米高产栽培理论的关键<sup>[1-4]</sup>。桂单 0811 是广西农科院玉米研究所选育的玉米新品种, 2013 年通过广西农作物品种审定, 该品种植株穗位整齐、果穗均匀、外观品质优、出籽率高、综合抗性强、高产稳产、适应性广, 在历年试验中产量表现突出。研究种植密度和肥料施用量对桂单 0811 产量的影响, 对提高广西玉米的产量具有重要的意义。科学施肥能提高玉米产量和品质; 肥料种类及施肥的比例、数量、时间、方法的不合理会引起肥料大量挥发和流失, 导致肥料利用率很低、施肥成本高、经济效益下降<sup>[5-8]</sup>。适宜的密度及平衡配方施肥是实现玉米高产的关键技术措施之一<sup>[9-11]</sup>。因此, 选用密植品种, 适当增加种植密度, 合理搭配氮、磷、钾肥比例及确定施用量是实现玉米高产的主要途径。为进一步发挥桂单 0811 的丰产、增产潜力, 实现良种与良法配套, 笔者开展了种植密度及氮、磷、钾肥的施用量对桂单 0811 产量效应的试验研究, 探索其高产栽培技术的最佳方案, 指导桂单 0811 合理施肥, 提高肥料效益, 减少化肥对环境的污染, 为推进桂单 0811 在广西的大面积推广种植和应用提供科学依据。

## 1 材料与方法

**1.1 试验材料** 供试品种为桂单 0811, 由广西农科院玉米所生物技术研究室选育提供; 供试肥料为氮肥(尿素, N 46%)、磷肥(钙镁磷肥, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 18%)、钾肥(氯化钾, K<sub>2</sub>O 60%)。

**1.2 试验方法** 试验于 2014—2015 年在广西壮族自治区农业科学院玉米研究所试验地进行。

**1.2.1 桂单 0811 耐密性鉴定试验。** 试验设计采用随机区组试验, 设 9 个处理(见表 1), 3 次重复, 每个处理作 1 个小区, 小区为 5 行区, 小区面积为 5 m × 0.7 m × 5 = 17.5 m<sup>2</sup>。

试验肥料及田间管理如下: ①种肥: 复合肥 N: P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: K<sub>2</sub>O = 16: 16: 16, 187.5 kg/hm<sup>2</sup> (0.328 kg/区)。②第 1 次追肥, 结合中耕进行。尿素 225 kg/hm<sup>2</sup> + 复合肥 150 kg/hm<sup>2</sup>; (尿素 0.394 kg/区 + 复合肥 0.262 kg/区); ③第 2 次追肥, 结合大培土进行。尿素 300 kg/hm<sup>2</sup> + 复合肥 150 kg/hm<sup>2</sup> (尿素 0.525 kg/区 + 复合肥 0.262 kg/区)。试验记载内容: 播种日期、出苗日期、抽雄期、吐丝期、成熟期、收获期。调查内容: 成熟期: 株高、穗位高; 总株数/小区、空秆率、倒伏株数、病害种类、感病株数/病害种类; 收获以中间两行计产, 考种: 穗长、穗粗、穗行数、行粒数、秃尖长; 千粒重/区、容重/区。

**1.2.2 桂单 0811 密度肥料耦合试验。** 播种前取土样进行分析。采用 416-B 最优混合设计<sup>[12]</sup>, 设置 16 个处理, 分别

**作者简介** 苏义成(1978—), 男, 广西桂林人, 助理研究员, 从事玉米遗传育种研究。\* 通讯作者, 研究员, 硕士, 从事玉米遗传育种研究。

**收稿日期** 2017-08-16

于 2015 上半年和 2015 下半年试验种植两季。每季试验设置 3 次重复,随机区组排列,每个处理种 5 行区,行长 5 m,行距 0.7 m,小区面积 17.5 m<sup>2</sup>。416-B 最优混合设计以氮肥

( $X_1$ )、磷肥( $X_2$ )、钾肥( $X_3$ )施用量、种植密度( $X_4$ )4 因子为自变量,玉米产量( $Y$ )为目标函数,试验各因素的上水平、下水平和零水平及变化间距、编码值见表 2。

表 1 桂单 0811 不同密度处理的株距和每行株数

Table 1 The plant spacing and number of plants per row under each density treatment of Guidan 0811

密度处理 Density treatment	密度 Density 株/hm <sup>2</sup>	株距 Plant spacing cm	行距 Row spacing m	行长 Row length m	每行株数 Number of plants per row
C <sub>1</sub>	45 000	31.75	0.7	5	16
C <sub>2</sub>	51 000	28.01	0.7	5	18
C <sub>3</sub>	57 000	25.06	0.7	5	20
C <sub>4</sub>	63 000	22.68	0.7	5	22
C <sub>5</sub>	69 000	20.70	0.7	5	24
C <sub>6</sub>	75 000	19.05	0.7	5	26
C <sub>7</sub>	81 000	17.64	0.7	5	28
C <sub>8</sub>	87 000	16.42	0.7	5	30
C <sub>9</sub>	93 000	15.36	0.7	5	33

表 2 桂单 0811 施肥量各因子水平、变化间距和编码值

Table 2 The factor level, change interval and coding value for each fertilizer application dosage of Guidan 0811

因子 Factors	变化间距 Change interval	因子水平 Factor level								
		-1.518	-1.050	-1	-0.269	0	0.604	1	1.518	1.732
纯氮 Pure nitrogen $X_1$ //kg/hm <sup>2</sup>	74.10	0	—	38.40	—	112.50	—	186.60	225	—
纯磷 Pure phosphorus $X_2$ //kg/hm <sup>2</sup>	24.75	0	—	12.75	—	37.50	—	62.25	75.00	—
纯钾 Pure potassium $X_3$ //kg/hm <sup>2</sup>	61.80	0	—	31.95	—	93.75	—	160.5	187.50	—
密度 Density $X_4$ //株/hm <sup>2</sup>	18 332	—	39 000	—	53 317	—	69 321	—	—	90 000

施肥方法:氮、磷、钾 3 要素按纯 N: 纯 P: 纯 K = 3.0: 1.0: 2.5 的比例施用,氮肥施用总量的 20%、30% 和 50% 分别在播种、中耕和大培土时施用;磷肥施用总量的 60% 和 40% 分别在播种和中耕时施用,钾肥施用总量的 50%、30% 和 20% 分别在播种、中耕和大培土时施用。除试验因子外,各小区

栽培管理一致,各个处理每小区实际称取肥量和播种密度见表 3。玉米成熟后,每小区取样 20 株分别测量株高、穗位高,调查田间病;收获中间两行测产;脱粒时考种,测定穗长、穗粗、穗行数、行粒数及千粒重。

表 3 桂单 0811 各处理施肥量和种植密度

Table 3 Fertilization amount and planting density in each treatment of Guidan 0811

处理编号 Treatment code	尿素施用量 Urea dosage $X_1$ //g/区	磷肥施用量 Phosphate fertilizer dosage $X_2$ //g/区	钾肥施用量 Potassium fertilizer dosage $X_3$ //g/区	种植密度 Planting density $X_4$ 株/hm <sup>2</sup>
F <sub>1</sub>	0(427.99)	0(835.01)	0(329.53)	1.732(90 000)
F <sub>2</sub>	0(427.99)	0(835.01)	0(329.53)	-0.269(53 317)
F <sub>3</sub>	-1(146.09)	-1(283.9)	-1(112.3)	0.604(69 321)
F <sub>4</sub>	1(709.89)	-1(283.9)	-1(112.3)	0.604(69 321)
F <sub>5</sub>	-1(146.09)	1(1 386.12)	-1(112.3)	0.604(69 321)
F <sub>6</sub>	1(709.89)	1(1 386.12)	-1(112.3)	0.604(69 321)
F <sub>7</sub>	-1(146.09)	-1(283.9)	1(546.75)	0.604(69 321)
F <sub>8</sub>	1(709.89)	-1(283.9)	1(546.75)	0.604(69 321)
F <sub>9</sub>	-1(146.09)	1(1 386.12)	1(546.75)	0.604(69 321)
F <sub>10</sub>	1(709.89)	1(1 386.12)	1(546.75)	0.604(69 321)
F <sub>11</sub>	1.518(855.97)	0(835.01)	0(329.53)	-1.05(39 000)
F <sub>12</sub>	-1.518(0)	0(835.01)	0(329.53)	-1.05(39 000)
F <sub>13</sub>	0(427.99)	1.518(1 670.02)	0(329.53)	-1.05(39 000)
F <sub>14</sub>	0(427.99)	-1.518(0)	0(329.53)	-1.05(39 000)
F <sub>15</sub>	0(427.99)	0(835.01)	1.518(659.05)	-1.05(39 000)
F <sub>16</sub>	0(427.99)	0(835.01)	-1.518(0)	-1.05(39 000)

**1.3 数据处理** 采用 DPS 软件和 Microsoft Excel 2007 对数据进行分析、处理。

## 2 结果与分析

**2.1 桂单 0811 密度与产量关系** 由表 4 可知,都安的产量较高,可能与当地的施肥水平与土质有关;3 地点试验中桂单 0811 的产量随着种植密度的增加而增加,当种植密度达 87 000 株/hm<sup>2</sup>时,产量最高,3 地平均产量 8 742.45 kg/hm<sup>2</sup>,但 3 地平均产量密度在 75 000、81 000、87 000、93 000 株/hm<sup>2</sup>时差异不显著。这说明桂单 0811 较耐密,密度超过 75 000 株/hm<sup>2</sup>时,产量未降低。考虑到广西玉米的生产条件,在大面积推广示范中推荐采用 63 000~69 000 株/hm<sup>2</sup> 的种植密度。

表 4 桂单 0811 不同播种密度下产量的比较

Table 4 Comparison of yields under different planting densities of Guidan 0811 kg/hm<sup>2</sup>

密度编号 Density code	明阳基地 Mingyang base	天等 Tiandeng	都安 Dúan	平均 Average
C <sub>1</sub>	6 424.35	6 285.60	6 828.00	6 512.70 dD
C <sub>2</sub>	6 697.80	6 382.80	7 529.10	6 870.00 cdCD
C <sub>3</sub>	6 641.85	6 719.55	8 169.30	7 176.90 bcdCD
C <sub>4</sub>	6 969.30	6 999.00	8 314.05	7 427.40 bcBCD
C <sub>5</sub>	7 184.10	7 474.35	9 122.10	7 926.90 abABC
C <sub>6</sub>	7 562.85	7 416.00	9 930.00	8 302.95 aAB
C <sub>7</sub>	7 553.85	7 633.80	10 131.90	8 439.90 aAB
C <sub>8</sub>	7 856.10	8 038.65	10 332.60	8 742.45 aA
C <sub>9</sub>	7 759.20	7 929.45	10 210.65	8 633.10 aA

注:同列不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ );同列不同大写字母表示差异极显著( $P < 0.01$ )

Note: Different lowercases in the same column indicated significant differences ( $P < 0.05$ ); different capital letters in the same column indicated extremely significant differences ( $P < 0.01$ )

**2.2 桂单 0811 密度肥料耦合与产量结果多重比较** 运用“416-B”回归最优设计方案对 2015 上半年和下半年的种植密度、氮肥施用量、磷肥施用量、钾肥施用量分别进行耦合试验。从表 5 可以看出,16 个处理中,F<sub>1</sub> 处理两季平均产量最高,为 9 432.75 kg/hm<sup>2</sup>,F<sub>10</sub> 处理产量次之,为 9 318.6 kg/hm<sup>2</sup>,两者差异不显著。这 2 个处理种植密度、N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O 分别为 90 000 株/hm<sup>2</sup>、112.5 kg/hm<sup>2</sup>、85.95 kg/hm<sup>2</sup>、112.5 kg/hm<sup>2</sup>和 69 315 株/hm<sup>2</sup>、186.6 kg/hm<sup>2</sup>、142.5 kg/hm<sup>2</sup>、187.5 kg/hm<sup>2</sup>。可见,合理施肥与最适密度对于桂单 0811 获得高产都非常重要。

**2.3 桂单 0811 密度肥料耦合产量模型建立** 建立产量(Y)与氮肥(X<sub>1</sub>)、磷肥(X<sub>2</sub>)、钾肥(X<sub>3</sub>)、密度(X<sub>4</sub>)的回归方程:

$$Y = 9\,173.25 + 288X_1 + 189.75X_2 + 234.3X_3 + 349.05X_4 - 24.9X_1X_2 - 52.95X_1X_3 + 53.55X_1X_4 - 26.4X_2X_3 + 16.8X_2X_4 + 11.4X_3X_4 - 216X_1^2 - 219X_2^2 - 279.6X_3^2 - 115.05X_4^2$$

对所得回归方程进行统计测验( $F = 30.72 > F_{(0.01,14,81)} = 2.31$ ),结果显示所建立的回归方程可靠,可用于预测桂单 0811 高产及筛选优化栽培方案;剔除不显著项后,简化后的回归方程为:

$$Y = 9\,173.25 + 288X_1 + 189.75X_2 + 234.3X_3 + 349.05X_4 - 216X_1^2 - 219X_2^2 - 279.6X_3^2 - 115.05X_4^2$$

由于各因子的变异度(标准差)不同,数学模型中不同因子的系数大小不能反映各因子对因变量的影响程度。因此,在这里引用贡献法来评价各因子的相对重要性。

首先依据回归方程的各回归系数的  $t$  值,求出某一因子的贡献值( $\delta$ ),当  $t \leq 1$  时, $\delta = 0$ ;  $t \geq 1$  时, $\delta = 1 - 1/t^2$ ;然后计算出该因子的综合贡献值( $\Delta_j$ ): $\Delta_j = \delta_j + \delta_{jj} + 1/2 \sum \delta_{ij}$ ,其中  $\delta_j$  和  $\delta_{jj}$  分别代表第  $j$  个因子的一次项和二次项的贡献值, $\delta_{ij}$  代表所有与  $j$  交互的交互项的贡献值,经计算得 4 个因子的贡献值,可得到 4 个因子对产量的影响顺序由大到小依次为密度 X<sub>4</sub> (1.56)、氮肥 X<sub>1</sub> (1.45)、磷肥 X<sub>2</sub> (1.09)、钾肥 X<sub>3</sub> (0.99)。

表 5 桂单 0811 密度肥料耦合试验 2015 年两季平均产量多重比较

Table 5 Multiple comparison of average yields for two seasons of 2015 in planting density and fertilizer application coupling trials

处理编号 Treatment code	春季 Average yield of spring kg/hm <sup>2</sup>	秋季 Average yield of autumn kg/hm <sup>2</sup>	两季平均 Average yield of two seasons kg/hm <sup>2</sup>
F <sub>1</sub>	9 527.40 aA	9 338.10 aA	9 432.75 aA
F <sub>2</sub>	9 276.15 bAB	8 866.05 bcAB	9 071.10 bcBC
F <sub>3</sub>	7 773.15 gG	7 670.55 fDE	7 721.85 hG
F <sub>4</sub>	8 752.65 cdCD	8 431.95 deBC	8 592.30 eDEF
F <sub>5</sub>	8 479.50 deDEF	8 116.95 eCD	8 298.15 gF
F <sub>6</sub>	9 298.65 abAB	8 543.10 cdBC	8 920.95 cdCD
F <sub>7</sub>	8 605.20 dCDE	8 268.00 deC	8 436.6 fgEF
F <sub>8</sub>	9 314.40 abAB	8 580.75 cdBC	8 947.50 cdCD
F <sub>9</sub>	9 044.25 bcABC	8 474.55 deBC	8 759.40 deCDE
F <sub>10</sub>	9 441.60 aA	9 195.60 abA	9 318.60 abAB
F <sub>11</sub>	8 802.00 cdBCD	8 266.05 deC	8 534.10 efgEF
F <sub>12</sub>	8 008.80 fgFG	7 651.95 fDE	7 830.45 Hg
F <sub>13</sub>	8 675.70 cdCDE	8 197.35 deC	8 436.45 fgEF
F <sub>14</sub>	8 212.50 efEFG	7 615.65 fDE	7 914.15 hG
F <sub>15</sub>	8 617.05 dCDE	8 115.3 eCD	8 366.25 fgF
F <sub>16</sub>	7 961.70 fgG	7 420.95 fE	7 691.40 hG

注:同列不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ );同列不同大写字母表示差异极显著( $P < 0.01$ )

Note: Different lowercases in the same column indicated significant differences ( $P < 0.05$ ); different capital letters in the same column indicated extremely significant differences ( $P < 0.01$ )

**2.4 桂单 0811 密度肥料各因子效应分析** 回归分析表明,单个效应都达到极显著水平,在 6 组交互项中,两两因子的交互作用均未达显著水平,单效应分析时导出 X<sub>i</sub> 的单效应方程如下:

氮肥——X<sub>1</sub> 的单效应方程:  $Y = 9\,173.25 + 288X_1 - 216X_1^2$ ;

磷肥——X<sub>2</sub> 的单效应方程:  $Y = 9\,173.25 + 189.75X_2 - 219X_2^2$ ;

钾肥——X<sub>3</sub> 的单效应方程:  $Y = 9\,173.25 + 234.3X_3 - 279.6X_3^2$ ;

密度——X<sub>4</sub> 的单效应方程:  $Y = 9\,173.25 + 349.05X_4 - 115.05X_4^2$ 。

由单效应方程作出各因子与产量的单效应图。从图 1 可以看出,固定其他因子为 0 水平时,在  $-1.518 \leq X_i \leq 1.732$  的约束范围内,氮肥、磷肥、钾肥与产量基本呈抛物线关系,即产量随着氮肥、磷肥、钾肥的增加而提高,当氮肥、磷肥、钾

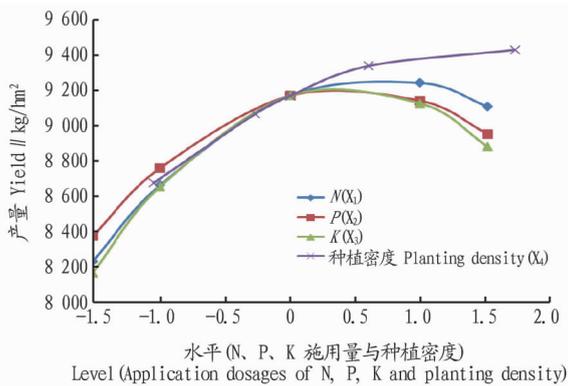


图1 N、P、K 施用量与种植密度单效应图

Fig.1 Single effect of N,P,K application dosages and planting density on yield

肥达到一定数值时产量达最大值。之后,产量随其继续增加反而下降;随着种植密度的增加,产量持续提高。当氮肥在 1 水平,即氮 186.60 kg/hm<sup>2</sup> 时,产量最高;磷肥在 0 水平,即 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 85.5 kg/hm<sup>2</sup> 时,产量最高;钾肥在 0 水平,即

K<sub>2</sub>O 112.5 kg/hm<sup>2</sup> 时,产量最高;种植密度在 1.732 水平,即 90 000 株/hm<sup>2</sup> 时,产量最高。

**2.5 桂单 0811 密度肥料耦合产量模拟寻优** 依据桂单 0811 产量回归方程,进行全因子优化组合频次分析,产量高于 9 300 kg/hm<sup>2</sup> 的组合,各变量取值的频率分布结果见表 6。

玉米产量较高组合方案中,氮肥、磷肥、钾肥以 0 水平和 1 水平较多,种植密度以 0.604 水平和 1.732 水平较多。从频率分布看,氮肥以 1 水平取值频率最高,为 0.40,其次为 0 水平的 0.35,因此适宜的氮为 112.50 ~ 186.60 kg/hm<sup>2</sup> (折合尿素 244.50 ~ 405.00 kg/hm<sup>2</sup>);磷肥以 0 水平取值频率最高,为 0.55,其次为 1 水平的 0.40,因此适宜的磷为 37.50 ~ 62.25 kg/hm<sup>2</sup> (折合 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 85.50 ~ 142.50 kg/hm<sup>2</sup>);钾肥以 0 水平取值频率最高,为 0.60,其次为 1 水平的 0.40,因此适宜的钾为 93.75 ~ 155.55 kg/hm<sup>2</sup> (折合 K<sub>2</sub>O:112.50 ~ 187.50 kg/hm<sup>2</sup>);种植密度以 1.732 水平取值频率最高,为 0.65,其次为 1 水平的 0.35,因此适宜的种植密度为 69 321 ~ 90 000 株/hm<sup>2</sup>。

表 6 产量高于 9 300 kg/hm<sup>2</sup> 的组合各变量取值的频率分布

Table 6 Frequency distribution of variables with yield above 9 300 kg/hm<sup>2</sup>

水平编 码值 Level codes	X <sub>1</sub> (氮肥 N)		X <sub>2</sub> (磷肥 P)		X <sub>3</sub> (钾肥 K)		水平编 码值 Level codes	X <sub>4</sub> (密度 Density)	
	次数 Times	频数 Frequency	次数 Times	频数 Frequency	次数 Times	频数 Frequency		次数 Times	频数 Frequency
-1.518	0	0.00	0	0.00	0	0.00	-1.050	0	0
-1.000	0	0.00	0	0.00	0	0.00	-0.269	0	0
0.000	7	0.35	11	0.55	12	0.60	0.000	0	0
1.000	8	0.40	8	0.40	8	0.40	0.604	7	0.35
1.518	5	0.25	1	0.05	0	0.00	1.732	13	0.65
合计次数 Total times	20	1.00	20	1.00	20	1.00	合计次数 Total times	20	1.00
加权均数 Weighted mean	0.779 5		0.475 9		0.4		加权均数 Weighted mean	1.336 7	
标准误 Standard error	0.135 7		0.120 1		0.109 5		标准误 Standard error	0.120 3	
95% 置信区间 95% confidence interval	0.449 2 ~ 1.109 8		-0.292 4 ~ 0.768 3		-0.266 6 ~ 0.666 6		95% 置信区间 95% confidence interval	1.0439 ~ 1.629 5	
农艺措施组合 Agronomic measures combination	7.50 ~ 12.44		2.50 ~ 4.15		6.25 ~ 10.37		农艺措施组合 Agronomic meas- ures combination	4 621.42 ~ 6 000.00	

进行全因子优化组合频次分析,根据经济效益,按玉米价格 2.0 元/kg,氮肥价格 5.2 元/kg,磷肥 7.2 元/kg,钾肥 5.9 元/kg,最高产量时肥料与密度方案为 N 181.50 kg/hm<sup>2</sup>,P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 118.95 kg/hm<sup>2</sup>,K<sub>2</sub>O 130.50 kg/hm<sup>2</sup>,密度为 83 910 株/hm<sup>2</sup>,产量为 9 583.95 kg/hm<sup>2</sup>,利润 1 156 元;最佳肥料施用量与密度方为 N 129.75 kg/hm<sup>2</sup> (折合尿素 282.00 kg/hm<sup>2</sup>),P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 99.00 kg/hm<sup>2</sup>,K<sub>2</sub>O 130.50 kg/hm<sup>2</sup>,密度为 83 910 株/hm<sup>2</sup>,产量为 9 583.95 kg/hm<sup>2</sup>,利润 1 169 元。

2016 年,在同一试验地块进行高产示范,示范面积 0.17 hm<sup>2</sup>,用上述的最佳肥料施用量与密度方案种植,产量达 9 525 kg/hm<sup>2</sup>,说明该方案对桂单 0811 的栽培有较好的指

导作用。

### 3 结论与讨论

**3.1 结论** 种植密度、氮肥、磷肥、钾肥 4 个因素变化的效应曲线均为抛物线,对桂单 0811 产量的影响由大到小依次为种植密度、氮肥、磷肥、钾肥;产量随着氮肥、磷肥、钾肥、种植密度的增加而提高,当氮肥、磷肥、钾肥密度达到一定数值时产量达最大值,之后产量随其继续增加反而下降;产量较高组合方案中,氮肥、磷肥、钾肥以 0 水平和 1 水平较多,密度以 0.604 水平和 1.732 水平较多;进行全因子优化组合频次分析,适宜的纯氮为 112.50 ~ 186.60 kg/hm<sup>2</sup> (折合尿素 244.50 ~ 405.00 kg/hm<sup>2</sup>);磷肥以 0 水平取值频率最高,为

0.55,其次为1水平的0.40,因此适宜的磷为37.50~62.25 kg/hm<sup>2</sup>(折合P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>85.50~142.50 kg/hm<sup>2</sup>);钾肥以0水平取值频率最高,为0.60,其次为1水平的0.40,因此适宜的钾为93.75~155.55 kg/hm<sup>2</sup>(折合K<sub>2</sub>O:112.50~187.50 kg/hm<sup>2</sup>);密度以1.732水平取值频率最高,为0.65,其次为1水平的0.35,因此适宜的种植密度为69 321~90 000株/hm<sup>2</sup>。桂单0811较耐密,种植密度在75 000、81 000、87 000、93 000 kg/hm<sup>2</sup>时产量差异不显著,但考虑到广西玉米的生产条件,在大面积推广示范中推荐采用种植密度63 000~69 000株/hm<sup>2</sup>。

**3.2 讨论** 该试验研究的4个因子中,对产量的影响由大到小依次为种植密度、氮肥、磷肥、钾肥,肥料和密度的交互效应对产量的影响表现为:种植密度的增加能在一定程度上增加玉米的产量,进一步增加产量需要注意合理的施用肥料,这与前人的研究结果一致<sup>[13-18]</sup>。该试验设计范围内玉米产量随各因素水平的增加而增加,当氮肥在1水平,即氮186.60 kg/hm<sup>2</sup>时,产量最高,继续增大各因子水平产量反而开始下降;磷肥在0水平,即P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>85.50 kg/hm<sup>2</sup>时,产量最高,继续增大各因子水平产量开始下降;钾肥在0水平,即K<sub>2</sub>O 112.50 kg/hm<sup>2</sup>时,产量最高,继续增大各因子水平产量开始下降;种植密度在0.604水平,即69 321株/hm<sup>2</sup>时,产量最高,继续增大各因子水平产量开始下降。由此可知,肥料和密度各因子对产量的作用特点为:磷肥和钾肥水平的变化对产量影响较小,在0水平达到最大,当因子水平较低时,随因子水平的增加产量的增幅较小,当因子水平较高时,产量的降幅较小;氮肥在1水平达到最大,水平较低时,随因子水平的增加,增产幅度较大,而当氮肥水平较高时,产量的降幅相对较大;密度在0.604水平达到最大,对产量的影响与氮肥相似,只是在低水平产量的增幅和在高水平产量的降幅相对较大,而且密度比氮肥的影响大。因此,适当增加种植密

度,合理搭配氮、磷、钾肥比例及确定施用量是十分重要的。桂单0811较耐密,在密度试验中,密度在75 000、81 000、87 000、93 000株/hm<sup>2</sup>时产量差异不显著。因此,适宜密度及合理施肥可获得高产。生产中需保证肥料利用率,降低肥料的流失,减少施肥成本,提高经济效益。

### 参考文献

- [1] 王蒙,赵兰坡,王立春,等.不同氮肥运筹对东北春玉米氮素吸收和土壤氮素平衡的影响[J].玉米科学,2012,20(6):128-131,136.
- [2] 王志刚,高聚林,任有志,等.春玉米超高产群体冠层结构的研究[J].玉米科学,2007,15(6):51-56.
- [3] 郑伟,何萍,高强,等.施氮对不同土壤肥力玉米氮素吸收和利用的影响[J].植物营养与肥料学报,2011,17(2):301-309.
- [4] 郭玉秋,董树亭,王空军,等.玉米不同穗型品种粒、叶内源生理特性的群体调节研究[J].作物学报,2003,29(4):626-632.
- [5] 马国胜,薛吉全,路海东,等.陕单8806高产高效施肥技术模式研究[J].玉米科学,2006,14(4):134-137.
- [6] 何萍,金继运.氮钾互作对春玉米养分吸收动态及模式的影响[J].玉米科学,1999,7(3):68-72.
- [7] 武际,郭熙盛,王文军,等.磷钾肥配合施用对玉米产量及养分吸收的影响[J].玉米科学,2006,14(3):147-150.
- [8] 周旭梅,高旭东,何晶.种植密度对玉米产量及植株性状的影响[J].玉米科学,2012,20(3):107-110.
- [9] 侯乐新,李圣华,澹思鑫.夏玉米制种氮、磷、钾施肥模型及最优施肥参数的初步研究[J].玉米科学,1996,4(3):77-80.
- [10] 高翔,陶廷英,邓培延,等.密度和施肥量对杂交玉米黔单21产量的影响[J].贵州农业科学,2010,38(9):29-31.
- [11] 何文铸,张彪,唐海涛,等.玉米新品种东315丰产栽培综合农艺措施优化方案的研究[J].西南农业学报,2011,24(2):466-470.
- [12] 白厚义,刘强,袁玲,等.回归设计及多元统计分析[M].南宁:广西科学技术出版社,2003.
- [13] 梁熠,齐华.高产春玉米种植密度和施肥效应研究[J].农业科学研究,2014,35(1):29-34.
- [14] 刘立军,王辉,彭涛,等.种植密度和施肥对华苎4号新栽麻产量的影响[J].湖北农业科学,2011,50(4):675-678.
- [15] 何元强,李体琛,蒋益敏,等.种植密度和施肥量对南校糯96产量的影响[J].广东农业科学,2013,40(5):3-6.
- [16] 周波,胡学安,魏良明,等.郑黄糯2号糯玉米不同密度产量及品质效应研究[J].中国农学通报,2009,25(10):132-136.
- [17] 姜艳超,王庆祥.不同品种、密度、肥料对甜糯玉米产量的影响研究[J].杂粮作物,2004,24(2):218-220.
- [18] 王建华,高风菊.不同施肥量与种植密度对夏玉米产量及效益的影响[J].杂粮作物,2009,29(6):407-409.

### 名词解释

**扩展总被引频次:**指该期刊自创刊以来所登载的全部论文在统计当年被引用的总次数。这是一个非常客观实际的评价指标,可以显示该期刊被使用和受重视的程度,以及在科学交流中的作用和地位。

**扩展影响因子:**这是一个国际上通行的期刊评价指标,是E·加菲尔德于1972年提出的。由于它是一个相对统计量,所以可公平地评价和处理各类期刊。通常,期刊影响因子越大,它的学术影响力和作用也越大。具体算法为:

$$\text{扩展影响因子} = \frac{\text{该刊前两年发表论文在统计当年被引用的总次数}}{\text{该刊前两年发表论文总数}}$$

**扩展即年指标:**这是一个表征期刊即时反应速率的指标,主要描述期刊当年发表的论文在当年被引用的情况。具体算法为:

$$\text{扩展即年指标} = \frac{\text{该期刊当年发表论文在统计当年被引用的总次数}}{\text{该期刊当年发表论文总数}}$$

**扩展他引率:**指该期刊全部被引次数中,被其他刊引用次数所占的比例。具体算法为:

$$\text{扩展他引率} = \frac{\text{被其他刊引用的次数}}{\text{期刊被引用的总次数}}$$