

氮、磷、钾和密度等因素对玉米产量形成的作用

谭 华

(广西玉米研究所, 南宁明阳 530227)

摘要 采用回归正交旋转组合设计的方法, 研究影响玉米产量的 N、P₂O₅、K₂O 三要素施肥量及种植密度, 并对各因素的单独反应规律及其互作效应进行探讨。结果表明种植密度和施 N 量是制约玉米产量的主导因素, 单产 6 000 kg/hm² 以上农艺措施为: 公顷施纯 N 240.6 ~ 266.4 kg、P₂O₅ 106.75 ~ 121.4 kg、K₂O 206.6 ~ 238.2 kg 及公顷留苗 52 560 ~ 55 440 株。

关键词 玉米 产量 施肥量 种植密度 农艺措施

玉米是一种产量潜力高的粮食作物, 其对 N、P、K 用量及种植密度都有密切的反应。为此我们对玉米产量的形成与 N、P、K 及密度等因素的关系进行了探讨, 为玉米高产栽培的数量化、指标化提供一个参照依据。

1 材料和方法

试验在本所试验地进行, 灰壤土, 前作玉米, 耕作层土壤有机质 1.118%、全量 N 0.060 95%、P₂O₅ 0.1 040%、K₂O 0.112 4%; 速效 N、P₂O₅、K₂O 分别为: 56.1 mg/kg、23.7 mg/kg、57.6 mg/kg; 试验选用施 N 量(x_1)、施 P₂O₅ 量(x_2)、施 K₂O 量(x_3)及种植密度(x_4)为决策变量, 采用二次回归正交旋转组合设计: $m_c = 16$ 、 $m_r = 8$ 、 $m_o = 12$ 共 36 个试验小区, 自变量设计水平及编码如表 1; 选用优质蛋白玉米杂交组合遵 A × 综苏 L/2852(三交种), 每小区播 4 行, 各小区随机排列, 行距 0.7 m、行长 9.5 m, 20% 的 N、30% 的 K₂O 及全部 P₂O₅ 播种时施入; 30% 的 N、40% 的 K₂O 4 ~ 5 叶时施用; 余下 50% 的 N、30% 的 K₂O 10 ~ 11 展叶大培土时施入, 成熟后收中间两行晒干计产。

表 1 自变量设计水平及编码 (kg 亩⁻¹株)

编码值	x_1 (N)	x_2 (P ₂ O ₅)	x_3 (K ₂ O)	x_4 (密度)
+2	25.000	10.000	20.000	4 500
+1	20.000	8.125	16.250	3 875
0	15.000	6.250	12.500	3 250
-1	10.000	4.375	8.750	2 625
-2	5.000	2.500	5.000	2 000
Δ_i	5.000	1.875	3.750	625

2 结果与分析

2.1 产量结果与模型的建立

试验计划结构矩阵及产量结果如表 2。将表 2 的结果使用“二次回归正交旋转设计程序”运算, 求得玉米产量与各个因子之间的回归模型为:

表 2 试验结构矩阵及产量结果

区号	x_1	x_2	x_3	x_4	亩产(kg)	区号	x_1	x_2	x_3	x_4	亩产(kg)
1	1	1	1	1	450	19	0	2	0	0	388
2	1	1	1	-1	398	20	0	-2	0	0	368
3	1	1	-1	1	418	21	0	0	2	0	383
4	1	1	-1	-1	395	22	0	0	-2	0	368
5	1	-1	1	1	403	23	0	0	0	2	373
6	1	-1	1	-1	370	24	0	0	0	-2	315
7	1	-1	-1	1	403	25	0	0	0	0	428
8	1	-1	-1	-1	388	26	0	0	0	0	430
9	-1	1	1	1	393	27	0	0	0	0	395
10	-1	1	1	-1	380	28	0	0	0	0	433
11	-1	1	-1	1	375	29	0	0	0	0	393
12	-1	1	-1	-1	350	30	0	0	0	0	430
13	-1	-1	1	1	395	31	0	0	0	0	415
14	-1	-1	1	-1	333	32	0	0	0	0	420
15	-1	-1	-1	1	348	33	0	0	0	0	430
16	-1	-1	-1	-1	330	34	0	0	0	0	423
17	2	0	0	0	348	35	0	0	0	0	430
18	-2	0	0	0	345	36	0	0	0	0	410

$$\hat{y} = 420.58 + 13.625\,0x_1 + 9.541\,7x_2 + 6.041\,7x_3 + 14.8\,750x_4 + 0.3\,125x_1x_2 - 5.062\,5x_1x_3 + 0.312\,5x_1x_4 + 3.187\,5x_2x_3 - 0.937\,5x_2x_4 + 4.937\,5x_3x_4 - 14.843\,8x_1^2 - 6.9688x_2^2 - 7.593\,8x_3^2 - 15.468\,8x_4^2 \dots\dots(1)$$

对模型(1)进行方差分析, $F_1 = 2.82 < F_{0.05(10,11)} = 2.85$, 失拟项不显著, 表明所建立的回归方程与实测值拟合较好; $F_2 = 5.930\,3 > F_{0.01(14,21)} = 3.07$ 达极显著水平, 复相关系数 $R = 0.893\,4^{**}$, 说明 N、P、K 及密度四个因素与玉米产量存在密切的函数关系。

对回归系数的检验结果表明: F_{X_1} 、 F_{X_2} 、 F_{X_3} 、 F_{X_4} 、 $F_{X_1^2}$ 、 $F_{X_2^2}$ 、 $F_{X_3^2}$ 、 $F_{X_4^2}$ 达到不同程度的显著水准, 由于方程拟合较好, 对方程(1)的分析不作变量剔除。

2.2 模型的解析与寻优

2.2.1 单因子效应

由于回归设计具有正交性, 各偏回归系数绝对值大小即示变异来源对试验结果影响的程度。模型(1)中线性项对产量的影响: 密度 > N > P > K, 二次项均为负值表明四个因素的效应作用存在有极大值。

用降维法对模型(1)固定 $m - 1$ (m 为自变量个数) 个自变量的取值于 0 水平, 各因子与产量关系:

$$\left. \begin{aligned} \hat{y}_1 &= 420.58 + 13.6\,250x_1 - 14.843\,8x_1^2 \\ \hat{y}_2 &= 420.58 + 9.541\,7x_2 - 6.9\,688x_2^2 \\ \hat{y}_3 &= 420.58 + 6.041\,7x_3 - 7.5\,938x_3^2 \\ \hat{y}_4 &= 420.58 + 14.8\,750x_4 - 15.468\,8x_4^2 \end{aligned} \right\} \dots\dots(2)$$

研究表明,低水平条件下各因子的增产作用:密度 > N > P > K;在高水平条件下减产效应为 N > 密度 > K > P。可见 N 肥用量和种植密度是制约玉米产量的主导因素。

2.2.2 单因子边际产量效应

对模型(2)分别求导,可得各因子边际产量效应,模型(3):

$$\left. \begin{aligned} 2y_1/2x_1 &= 13.625 - 29.6876x_1 \\ 2y_2/2x_2 &= 9.5417 - 13.9376x_2 \\ 2y_3/2x_3 &= 6.0417 - 15.1876x_3 \\ 2y_4/2x_4 &= 14.875 - 30.9376x_4 \end{aligned} \right\} \dots\dots(3)$$

各因子边际产量为零时,各编码值为 $x_1 = 0.4590$ 、 $x_2 = 0.6846$ 、 $x_3 = 0.3978$ 、 $x_4 = 0.4808$,相当于公顷密度低于 53 250 株,公顷施肥低于纯 N 259.5 kg、 P_2O_5 112.9 kg、 K_2O 209.8 kg 各因子都有增产作用,其增产效应:密度 > N > K > P,当密度高于 53 250 株,公顷施肥高于纯 N 259.5 kg、 P_2O_5 112.9 kg、 K_2O 209.8 kg 各因子都引起减产,各因子减产效应密度 > N > K > P。可见密度及氮肥始终都是制约玉米产量的主导因素,这为我们在不同条件下的技术措施提供了方向。

2.2.3 双因子综合效应

对模型(1)固定 $m-2$ 个因子于零水平,可得另外两个因子与产量关系的子模型。

当 x_3 、 x_4 取零水平时:

$$\hat{y}_{12} = 420.58 + 13.6250x_1 + 9.5417x_2 + 0.3125x_1x_2 - 14.8438x_1^2 - 6.9688x_2^2 \quad (4)$$

由模型(4)可知,N 的作用在低 P_2O_5 水平下比高 P_2O_5 条件下增产作用较大; P_2O_5 的作用在高 N 或低 N 条件下变化都较小,无论在何种水平下,N 的效应都比 P_2O_5 大,前者 CV% 为 8.99~10.05 后者 4.90~6.00,说明在 P_2O_5 不足时适当增施 N 可以提高玉米产量,在 P_2O_5 充足时,盲目增施 N 会引起减产,中等施 N 量(225~300 kg)与中等施 P_2O_5 量(93.7~121.8 kg)相互配合可获得较高的产量。

同理可得 N 与 K、N 与密度对产量的综合效应。

在低 N 水平下, K_2O 用量的变化引起产量的变动较大,高 N 水平下变动较小;因而在 N 不足时可增施 K_2O 来提高产量;N 的效应在低 K_2O 水平下较大,在高 K_2O 水平下较小,在 K_2O 不足时可增施 N,在 K_2O 充足时应控制 N 的过多施用;N 与 K_2O 对产量的最佳效应为公顷施纯 N 225~300 kg 与 K_2O 187.5~225 kg 相互配合。

无论在低 N 水平或高 N 水平,密度低于 53 250 株时产量随密度的增加而提高,超过 53 250 株时则引起减产;当公顷施纯 N 240~225 kg 与密度 52 500~54 000 株相配合时获得较高的产量。

2.2.4 玉米高产的最佳综合农艺措施

由极值分析可知,边际产量为零时可获得最高产量,边际产量与边际成本相等时获得最大利益。边际产量为零时各因子编码: $x_1 = 0.4590$ 、 $x_2 = 0.6846$ 、 $x_3 = 0.3978$ 、 $x_4 = 0.4808$,相当公顷施纯 N 259.5 kg、 P_2O_5 112.9 kg、 K_2O 209.8 kg 和每公顷 53 250 株可获最高公顷产 6 487.5 kg;边际产量与边际成本相等时各因子编码: $x_1 = 0.2467$ 、 $x_2 = 0.3364$ 、 $x_3 = 0.2058$ 、 $x_4 = 0.4808$ 即纯收益最大时的最佳方案为:公顷施纯 N 243.5 kg、 P_2O_5 103.2 kg、 K_2O 199.1 kg 及公顷留苗 53 250 株。

在 $-2 \leq x_i \leq 2$ 约束区间内,对 $5^4 = 625$ 套组合方案进行运算,有 140 套组合公顷产量高于 5 625 kg,其中有 50 套组合公顷产超过 6 000 kg,其频数分布及相应的农艺措施如表 3。

表3 亩产 ≥ 400 kg的 x_1 分布及农艺措施

编码水平	$x_1(N)$		$x_2(P_2O_5)$		$x_3(K_2O)$		x_4 密度	
	次数	频率	次数	频率	次数	频率	次数	频率
-2	0	0	0	0	0	0	0	0
-1	3	6	5	10	7	14	0	0
0	25	50	15	30	16	32	23	46
+1	22	44	19	38	16	32	26	52
+2	0	0	11	22	11	22	1	2
编码均值 $\bar{x}_i$	0.38		0.72		0.62		0.56	
均数标准差 s_i	0.085 19		0.131 1		0.139 6		0.076 45	
95%置信区间	0.208 8~0.551 1		0.456 6~0.983 3		0.339 5~0.900 0		0.406 4~0.713 6	
农艺措施	240.6~266.4 kg/hm ²		106.7~121.4 kg/hm ²		206.6~238.2 kg/hm ²		52 560~55 440 株/hm ²	

3 结 语

3.1 本研究以正交旋转组合设计的方法,研究 N、P₂O₅、K₂O 不同用量及种植密度对玉米产量的作用,并建立回归模型,找到了施 N 量和种植密度是制约玉米产量的主导因素。

3.2 在本试验条件下,公顷施纯 N 259.5 kg、P₂O₅ 112.9 kg、K₂O 209.8kg 及公顷留苗 53 250 株,可获最高单产达 6 487.5 kg/hm²;最大纯收益时的农艺措施为:公顷施纯 N 243.5 kg、P₂O₅ 103.2 kg、K₂O 199.1 kg 及公顷留苗 52 350 株。

3.3 在本试验条件下或与此类似的地区,预测玉米单产 6 000 kg/hm² 以上(概率保证达 95% 以上)的农艺措施为:公顷施纯 N 240.6~266.4 kg、P₂O₅ 106.7~121.4 kg、K₂O 206.6~238.2 kg 及公顷留苗 52 560~55 440 株。

参 考 文 献

- 1 杨义群主编. 回归设计及多元分析. 陕西: 天则出版社, 1990
- 2 朱志强等. 作物规范化栽培技术研究讲座. 贵州农业科学, 1988, (5): 59~64; (6): 49~55

(责任编辑: 韩 萍)