广东农业科学 2018，45（2）：13-17
Guangdong Agricultural Sciences doi：10.16768/j.issn.1004-874X.2018.02.003

梁庆平，简峰，蒙成，等．玉米新品种喜相伴99高产栽培数学模型及其应用［J］．广东农业科学，2018，45（2）：13-17.

玉米新品种喜相伴99高产栽培数学模型及其应用

梁庆平[1]，简　峰[1]，蒙　成[1]，庞骋思[2]，吴　地[1]，韦明军[1]
（1. 广西农业职业技术学院，广西 南宁 530007；2. 广西农业广播电视学校，广西 南宁 530022）

摘　要：采用五元二次正交旋转组合设计方法，研究不同播种期、种植密度、氮素水平、磷素水平、钾素水平对玉米新品种喜相伴99产量的影响，以找出不同栽培产量水平的优化栽培措施方案。结果表明，播种期、种植密度、施N量、施P_2O_5量、施K_2O量等与玉米产量回归相关显著，喜相伴99高产（7 500～9 750 kg/hm^2）栽培方案为：3月4～11日播种，种植密度5.18万～5.79万株/hm^2，按N、P_2O_5、K_2O比例约1∶0.5∶0.8施肥，施肥量为纯N 128.25～207.75 kg/hm^2、P_2O_5 67.05～108.15 kg/hm^2、K_2O 101.55～171.00 kg/hm^2。

关键词：玉米；高产栽培；播种期；种植密度；数学模型
中图分类号：S513.048　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1004-874X（2018）02-0013-05

High yield cultivation mathematical model and its application on maize new hybrid Xixiangban99

LIANG Qing-ping[1], JIAN Feng[1], MENG Cheng[1], PANG Cheng-si[2], WU Di[1], WEI Ming-jun[1]
（1. *Guangxi Agricultural Vocational College*, *Nanning* 530007, *China*;
2. *Guangxi Agricultural Broadcasting and Television School*, *Nanning* 530022, *China*）

Abstract: In this experiment, quadratic orthogonal regressive rotation design of five factors were used to study the effects of planting factors such as sowing date, density, nitrogen, phosphorus and potassium on the yield stability of maize variety Xixiangban 99. The results showed that sowing time, planting density , N application amount, P_2O_5 amount and K_2O amount were significantly correlated with yield of maize. If Xixiangban99 reaches the stable yield range of 7 500-9 750 kg/hm^2, it needs to be sowed in March 4-11, and planting density is 51.8～57.9 thousand plants per hectare, and N is 128.25～207.75 kg/hm^2, P_2O_5 is 67.05～108.15 kg/hm^2 and K_2O is 101.55～171.00 kg/hm^2. The ratio of N∶P_2O_5∶K_2O is 1∶0.5∶0.8. This study provided a theoretical basis for large area production of maize hybrids Xixiangban 99.

Key words: maize; high yield cultivation; sowing time; planting density; mathematical model

玉米是我国第一大粮食作物[1]，常年播种面积约0.33亿hm^2。生产的稳定发展是实现我国粮食安全的重要保证，是为发展养殖业提供优质充足饲料的需要。玉米生产的稳定发展必须有配套的高产栽培技术，多年的玉米生产实践证明，在玉米品种、播种期、种植密度、施肥水平等影响玉米产量的因素中，除玉米品种的增产潜力外，种植密度、施肥水平是对玉米产量影响较大且容易控制的两个重要因素。因此，提高玉米产量必须依靠玉米品种和配套栽培技术

收稿日期：2017-12-20
基金项目：广西科技成果转化与推广计划项目（桂科转1599004-4）；广西农业职业技术学院学术带头人专项（桂农职院发[2017]130号）；国家现代农业产业技术体系广西玉米创新团队建设项目（nycytxgxcxtd-04-04）
作者简介：梁庆平（1973-），女，硕士，教授，E-mail：lpp1218@163.com

的共同进步[2]。

喜相伴 99 是广西农业职业技术学院和广西绿丰种业有限责任公司共同育成的优良玉米新品种，2014 年 6 月通过广西农作物品种审定委员会审定[3]，目前在广西桂南、桂中种植区深受广大种植户的欢迎。在栽培因素中，科学施肥的核心是肥料的种类、数量及合理搭配[4]。不同生态条件、不同品种以及不同季节，玉米的施肥量及搭配有很大差异。近 20 年来，在科学合理施肥方面取得了突飞猛进的成绩，获得了大量的科学施肥有关模型和相关参数，应用这些模型和相关参数进行科学配方施肥，取得了较好的增产效果[5]。基于此，本试验研究了玉米品种喜相伴 99 在播种期、种植密度、氮、磷、钾肥等栽培因素及互作对其产量稳定性的影响，以指导大面积推广过程中种植户根据喜相伴 99 需肥特性进行科学施肥，从而获得更好的经济效益。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于 2015 年春季在广西农业职业技术学院教学实习农场进行。试验地前茬为玉米，地力均匀、平坦、光照好、排灌方便，土壤 pH 值 6.7，含有机质 2.01%、有效氮 110 mg/kg、有效磷 50 mg/kg、有效钾 131 mg/kg。

供试玉米品种为喜相伴 99，由广西绿丰种业有限责任公司提供。

1.2 试验方法

试验采用五元二次正交旋转组合设计，设播种期（X_1）、种植密度（X_2）、氮肥（N，X_3）、磷肥（P_2O_5，X_4）、钾肥（K_2O，X_5）5 个因素，每个因素设 5 个水平，共 36 个处理，每个处理种 5 行区，行长 5 m，行距 0.7 m，小区面积 17.5 m^2，随机排列，不设重复（表 1）。

表 1 正交试验水平编码值

因素	变化间距（$\triangle_j$）	水平				
		−2	−1	0	1	2
X_1（播种期）	5d	02−28	03−05	03−10	03−15	03−20
X_2（种植密度，万株 / hm^2）	0.6 万株	4.5	5.1	5.7	6.3	7.0
X_3（N，kg/hm^2）	45.0kg	82.5	127.5	172.5	217.5	262.5
X_4（P_2O_5，kg/hm^2）	22.5kg	41.25	63.75	86.25	108.75	131.25
X_5（K_2O，kg/hm^2）	36.0kg	66.0	102.0	138.0	174.0	210.0

播种前犁、耙碎、整平、土壤，播种时保证土壤水分，保证一次全苗。以总施肥量的 20% 尿素、全部磷肥、40% 氯化钾做底肥，播种时施放于两穴玉米之间，距种子 5 cm 以上，以免烧种影响全苗及种植密度；玉米出苗 3 ~ 4 叶时间苗，5 ~ 6 叶时定苗，结合中耕除草，施用总肥量的 30% 尿素、40% 氯化钾；在大喇叭口期，施用总量的 50% 尿素、20% 氯化钾作穗肥。试验处理因素之外的栽培措施一致，尽量减少人为误差，确保试验准确度和可靠性。收获期各小区收获中间 3 行，折算产量。

玉米成熟后，每个小区取样 20 株分别测量株高和穗位高，调查田间病害；收获中间 3 行测产，晒干后室内考种，测定穗长、穗粗、穗行数、行粒数及千粒重。

试验数据采用 DPS 7.05 系统进行统计分析，并通过建立二次正交旋转组合函数模型对产量进行拟合，依据不同方程拟合的决定系数选择最适模型[6-7]。

2 结果与分析

2.1 回归模型的建立与检验

采用五元二次正交旋转组合设计（表 2），对播种期（X_1）、种植密度（X_2）、氮（N，X_3）、磷（P_2O_5，X_4）、钾（K_2O，X_5）正交试验进行分析。结果（表 2）表明，喜相伴 99 高产（7 500 ~ 9 750 kg/hm^2）栽培方案为：3 月 4 ~ 11 日播种，每公顷种植 5.79 万 ~ 6.15 万株，施纯 N 128.25 ~ 207.75 kg、P_2O_5 67.05 ~ 108.15 kg、K_2O 101.55 ~ 171.00 kg，N、P_2O_5、K_2O 比例约 1 ∶ 0.5 ∶ 0.8。

根据表 2 中正交旋转组合设计的结构矩

表 2　喜相伴 99 五元二次正交旋转组合设计方案及试验结果

处理	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	产量（kg/hm²）	处理	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	产量（kg/hm²）
1	1	1	1	1	1	8655.0	19	0	−2	0	0	0	8073.0
2	1	1	1	−1	−1	9022.5	20	0	2	0	0	0	8733.0
3	1	1	−1	1	−1	9622.5	21	0	0	−2	0	0	8856.0
4	1	1	−1	−1	1	9891.0	22	0	0	2	0	0	9150.0
5	1	−1	1	1	−1	9283.5	23	0	0	0	−2	0	9156.0
6	1	−1	1	−1	1	9220.5	24	0	0	0	2	0	9156.0
7	1	−1	−1	1	1	8962.5	25	0	0	0	0	−2	9153.0
8	1	−1	−1	−1	−1	9363.0	26	0	0	0	0	2	8490.0
9	−1	1	1	1	−1	8845.5	27	0	0	0	0	0	8632.5
10	−1	1	1	−1	1	8598.0	28	0	0	0	0	0	9322.5
11	−1	1	−1	1	1	9156.0	29	0	0	0	0	0	8098.5
12	−1	1	−1	−1	−1	9111.0	30	0	0	0	0	0	9165.0
13	−1	−1	1	1	1	8620.5	31	0	0	0	0	0	9105.0
14	−1	−1	1	−1	−1	8421.0	32	0	0	0	0	0	9261.0
15	−1	−1	−1	1	−1	8823.0	33	0	0	0	0	0	9045.0
16	−1	−1	−1	−1	1	8640.0	34	0	0	0	0	0	9333.0
17	−2	0	0	0	0	9175.5	35	0	0	0	0	0	9220.5
18	2	0	0	0	0	9261.0	36	0	0	0	0	0	9172.5

阵，计算各回归系数 b_{ij} 及相应的显著性检验值 t_{ij}，以播种期（X_1）、种植密度（X_2）、氮（N，X_3）、磷（P_2O_5，X_4）、钾（K_2O，X_5）水平为自变量，玉米产量为依变量，经统计分析，建立喜相伴 99 高产栽培回归方程：

$$Y = 9012.59 + 188.13X_1 + 137.19X_2 - 88.14X_3 + 11.19X_4 - 64.98X_5 + 35.90X_1^2 - 134.83X_2^2 + 10.50X_3^2 + 53.42X_4^2 - 30.20X_5^2 - 129.96X_1X_2 + 16.53X_1X_3 - 170.08X_1X_4 - 24.11X_1X_5 - 83.98X_2X_3 - 66.60X_2X_4 - 16.21X_2X_5 + 113.64X_3X_4 - 22.58X_3X_5 - 136.22X_4X_5$$

2.2　方程回归系数分析

根据试验结果，经运算可得出方程的回归系数（表 3）。从表 3 可以看出，回归 $F_2 > F_{0.01}$，达到极显著水平，失拟 $F_1 < F_{0.01}$，没有达到显著水平，可见二次回归方程内相依关系和实用性能较可靠，与实际情况拟合良好，回归方程有效。

表 3　方程回归系数分析

变异来源	*SS*	*df*	*MS*	*F*	$F_{0.05}$	$F_{0.01}$
回归	3790319.5527	20	189515.9776	$F_2 = 1.32443$		0.2744
剩余	2146392.2173	15	143092.8145			
失拟	648179.1923	6	108029.8654	$F_1 = 0.64895$	0.6907	
误差	1498213.0250	9	166468.1139			
总变异	5936711.7700	35				

2.3　回归模型效应分析

由于对平方项进行了中心化变换，满足了试验的正交性，数学模型各项偏回归系数相互独立，可采用“降维法”，即固定两个自变量为零水平，导出另一个自变量的回归解析子模型：

$$Y_1 = 9012.59 + 188.13X_1 + 35.90X_1^2$$

$$Y_2 = 9012.59 + 137.19X_2 - 134.83X_2^2$$

$$Y_3 = 9012.59 - 88.14X_3 + 10.50\ X_3^2$$

$$Y_4 = 9012.59 + 11.19X_4 + 53.42X_4^2$$

$$Y_5 = 9012.59 - 64.98X_5 - 30.20X_5^2$$

根据子模型可计算 –2、–1、0、1、2 水平相应的理论产量（表 4）。在试验范围内，播种期以 2 月 28 日至 3 月 5 日左右产量较为理想，迟播导致产量相应降低；施纯 N 217.5 kg/hm² 的产量最高，而以 172.5 kg/hm² 的经济效益较好，施 N 量过高或偏低都不利于提高产量；种植密度以 5.7 万株 /hm² 利于高产；增施 P、K 肥能提高产量，而施 P_2O_5 131.25 kg/hm²、K_2O 210.0 kg/hm² 时产量最高。

表 4　理论产量主效应分析结果（kg/hm²）

因素	水平				
	–2	–1	0	1	2
播种期	9210	9300	9195	8895	8415
种植密度	8745	9030	9195	9255	9195
N	8235	8850	9195	9240	9015
P_2O_5	8850	9030	9195	9360	9510
K_2O	9060	9135	9195	9255	9300

2.4　高产农艺措施的计算机模拟寻优

以喜相伴 99 玉米产量回归方程为基础，在试验设计范围内取步长 1，用计算机进行寻优，得到 3 125 套栽培组合方案及其相应的产量和利润，其中最高产为 9 748.35（±317.70）kg/hm²，相应栽培方案为：2 月 28 日播种，每公顷种植 5.1 万株，施纯 N 172.5 kg、P_2O_5 131.25 kg、K_2O 174.0 kg，但这最高产量很不稳定，因此需进行最优选择。对 3 125 套方案进行统计，得到产量区域内的频率分布，产量 7 500 ~ 9 750 kg/hm² 出现的频率达 88.2%，这是高产稳产范围。

为了适应不同栽培水平和实际需要，保证方案在生产上的可行性，对稳产范围再经计算机进行分段寻优，分为高（9 000 ~ 9 750 kg/hm²）、中（8 250 ~ 9 000 kg/hm²）、低（7 500 ~ 8 250 kg/hm²）3 段不同产量水平寻优，并经检验校核，得到这 3 个产量范围的最佳栽培组合方案及其产量和利润（表 5）。

表 5　高、中、低产最佳栽培组合方案

自变量	高产方案		中产方案		低产方案	
	编码	方案	编码	方案	编码	方案
播种期	–1.08	03–04	–0.30	03–08	0.22	03–11
种植密度（万株 /hm²）	0.07	5.79	–0.38	5.47	–0.87	5.18
施 N 量（kg/hm²）	0.78	207.45	–0.24	161.55	–0.98	128.25
施 P_2O_5 量（kg/hm²）	0.97	108.15	–0.34	78.45	–1.01	67.05
施 K_2O 量（kg/hm²）	0.97	171.00	–0.34	125.55	–0.84	101.55
预测产量（kg/hm²）	9647.55		8998.65		8220.60	
利润（元 /hm²）	9148.947		8969.42		8383.66	

注：按目前广西化肥市场平均价格：尿素 2.50 元 /kg、过磷酸钙 0.66 元 /kg、氯化钾 3.00 元 /kg，折算纯 N 为 5.43 元 /kg、P_2O_5 4.13 元 /kg、K_2O 5.00 元 /kg；玉米市场平均售价 2.0 元 /kg。

3　结论与讨论

本研究通过试验和统计分析，建立了喜相伴 99 高产栽培数学模型，分析了试验处理因素对产量的影响，表明播种期、施 N 量、施 P_2O_5 量、种植密度、施 K_2O 量等与玉米产量回归相关显著，找到了不同栽培产量水平的优化栽培方案，为指导大面积生产提供理论依据。喜相伴 99 需要达到 7 500 ~ 9 750 kg/hm² 高产稳产最优栽培方案为：3 月 4 ~ 11 日播种，每公顷种植 5.18 万 ~ 5.79 万株，施肥量为纯 N 128.25 ~ 207.75 kg、P_2O_5 67.05 ~ 108.15 kg、K_2O 101.55 ~ 171.00 kg，N、P_2O_5、K_2O 比例约为 1∶0.5∶0.8。

本研究建立的喜相伴 99 产量与播种期、种植密度、氮、磷、钾施肥量等农艺措施之间的二次回归方程对试验点拟合程度较好，影响产量的主要因子均已考虑；经显著性检验，本研究建立的数学模型对结果有较好的拟合性，复决定系数达极显著水平，说明主要影响因子控制较好，各试验因子与产量关系密切，该模型对玉米生产具有实际指导作用

本试验结果表明，玉米杂交种喜相伴 99 在

广西 2 月 28 日至 3 月 20 日之间播种后都能正常成熟，但以 3 月 4 ~ 11 日左右播种的产量较为理想。玉米适期播种能充分利用光热水分等自然资源，有利于玉米生长过程中的干物质积累，从而获得较高产量，过早或过晚播种易使玉米受倒春寒或光照不足等不良天气影响，植株生长发育易受抑制，各项生理指标得不到最大发挥，从而影响产量和经济效益，这与汤金涛等[8]的研究结果一致。张胜等[9]研究也认为早播籽粒百粒重、淀粉、脂肪含量显著高于晚播。

本试验结果还表明，喜相伴 99 种植密度以 5.7 万株 /hm^2 利于高产。种植密度过低，群体容量不足，总有效穗数减少；而随着种植密度变大，密度对产量的负效应也增大，且高于其他影响因素，导致田间湿度增大，下部叶片荫蔽易感纹枯病，且易倒伏，造成减产。邹兴全等[10]研究表明，特定的杂交玉米种有最佳的种植密度，才能发挥品种自身的最大增产潜力。玉米是喜肥作物，选用耐密品种、高效施肥、优化灌溉模式等措施有利于提高玉米单产[11]。

玉米产量是综合因素共同作用的结果，对农艺措施播种期、种植密度、氮、磷、钾施肥量的互作效应进行分析结果表明，只有在适时早播条件下，适当增施氮肥才能增产；迟播情况下，增施磷肥也未必增产；在高密度情况下，增施 K_2O 增产效果不明显。谢业春等[12]研究指出，密度和氮肥施用水平对玉米产量的影响极显著，磷肥施用水平显著影响钾肥效应，因此在推广应用中应注意增施钾肥，控制种植密度和磷肥用量，保持适宜氮肥用量，以获得高产。

本研究以产量回归方程为基础，用计算机进行寻优，结果表明喜相伴 99 最高产为 9 748.35（ ± 317.70 ）kg/hm^2，其相应栽培方案为：2 月 28 日播种，每公顷种植 5.1 万株，施纯 N 172.5 kg、P_2O_5 131.25 kg、K_2O 174.0 kg，但这极高产量很不稳定，频率分布结果表明每公顷产量在 7 500 ~ 9 750 kg 之间才是高产稳产范围。前人通过用回归方程计算机进行寻优，也得到了相应玉米杂交种的最佳栽培方案，为品种的大面积推广提供参考[13-15]。

参考文献：

[1] 张卫建. 对我国玉米绿色增产增效栽培技术的探讨：增密减氮[J]. 作物杂志，2015(4)：7–10.

[2] 高质，陈国平，赵久然. 春玉米高产农艺措施数学模型的研究[J]. 北京农业科学，1991(5)：1–8.

[3] 吴地，韦明军，李体琛，等. 玉米品种喜相伴99高产制种技术[J]. 中国种业，2016(8)：71–72.

[4] 英敏，任洪，沈建华. 密度与施肥对玉米新品种黔804产量的影响[J]. 耕作与栽培，2011(1)：35.

[5] 于桂霞，王继才. 旱地玉米高产综合农艺措施数学模型的研究[J]. 玉米科学，1999(4)：35–39.

[6] 唐启义，冯明光. DPS 数据处理系统[M]. 北京：科学出版社，2006：250–252.

[7] 荣廷昭. 农业试验与统计分析[M]. 成都：四川科学技术出版社，1993：244–270.

[8] 汤金涛，陈福娜，左淑珍. 不同播种期对北种玉1号产量的影响[J]. 北京农业，2015(14)：37.

[9] 张胜，赵利梅，伊春芳，等. 播种期对春玉米籽粒及其营养品质形成的影响[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版)，2000(S1)：26–29.

[10] 邹兴全，张甲，晏承兴，等. 杂交玉米新品种高瑞171高产栽培模型研究[J]. 广东农业科学，2013，40(5)：7–8.

[11] 赵致，张荣达，吴盛黎，宋碧，张帮琨，江龙，王嵩，胡建风. 紧凑型玉米高产栽培理论与技术研究[J]. 中国农业科学，2001(5)：537–543

[12] 谢业春. 玉米品种‘农大108’优化栽培数学模型的研究[J]. 福建农业学报，2014，29(12)：1180–1185.

[13] 李姣娥，陈志辉，陈松林. 湘玉九号高产栽培技术的数学模型研究[J]. 湖南农业科学，2008(5)：28–30.

[14] 宋碧，柏光晓，袁玉清，等. 贵单8号玉米高产配套栽培技术研究[J]. 江苏农业科学，2010(1)：112–114.

[15] 张健，冯云超，余志江，等. 国审玉米品种三峡玉3号高产栽培数学模型[J]. 江苏农业科学，2013，41(7)：66–69.

（责任编辑　邹移光）