DOI:10.15933/j.cnki.1004-3268.2011.11.026
河南农业科学,2011,40(11):67-70
Journal of Henan Agricultural Sciences

新乡市东部地区花生氮磷钾"3414"设计施肥效应的研究

赵法成[1],陈荣江[2],苗子胜[1],黄喜梅[1],张云强[1],郑　雷[1]
(1.延津县农业局 土壤肥料工作站,河南 延津 453200;2.河南科技学院,河南 新乡 453003)

摘要:通过氮、磷、钾"3414"田间试验,建立以花生产量为目标函数的三元二次、二元二次及一元二次3类函数7种肥力效应模型,并对其提供的施肥决策及产量期望进行经济效益分析。结果表明,以NP二元二次回归模型提供的施肥决策产投比最高(20.55),且花生荚果产量期望较高(4586.16 kg/km^2),即在固定施K_2O 60 kg/km^{2}下,施N 170.16 kg/km^2、P_2O_5 63.84 kg/km^{2}宜作为新乡市东部地区种植花生的推荐施肥量。

关键词:花生;平衡施肥;肥效模型;经济效益;施肥参数
中图分类号:S565.2　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1004-3268(2011)11-0067-04

Research on Fertilizing Effect of NPK "3414" Design for Peanut in Eastern Region of Xinxiang City

ZHAO Fa-cheng[1],CHEN Rong-jiang[2],MIAO Zi-sheng[1],HUANG Xi-mei[1],
ZHANG Yun-qiang[1],ZHENG Lei[1]
(1.Soil & Fertilizer Working Station,Yanjin County Agriculture Bureau,Yanjin 453200,China;
2.Henan Institute of Science and Technology,Xinxiang 453003,China)

Abstract:Based on NPK "3414" field test data,7 fertilizing effect models of ternary,binary and unary quadratic,taking peanut yield as the target function,were set up. Effect analysis of fertilizer strategy and the corresponding yield were carried out. The results showed that the fertilizer formula,which was given by binary quadratic regression model of NP,i.e. N 170.16 kg/ha,P_2O_5 63.84 kg/ha,K_2O 60 kg/ha,yield expectation could reach up to 4586.16 kg/ha,the ratio of output to input was 20.55. This formula could be recommended to eastern peanut planting region of Xinxiang.

Key words:Peanut;Balanced fertilization;Fertilizer effect model;Economic benefits;Fertilizer parameter

花生在新乡市东部地区延津县种植的面积较大,近年来存在重氮肥轻磷钾肥的施肥弊端,造成花生生产成本增加,品质下降,肥料利用率不高,并在一定程度上造成了环境污染。为研究新乡市东部地区花生配方施肥指标体系,遵照农业部"测土配方施肥技术规范",特设计了花生氮、磷、钾"3414"肥效试验,通过田间试验数据,建立以花生产量为目标函数的三元二次、二元二次及一元二次肥力效应模型,以期通过对各类模型提供的施肥决策及产量期望的经济效益分析对比,决选出最优施肥配比参数,为指导新乡市东部地区花生科学施肥提供参考。

1　材料和方法

试验于2008年在延津县新安乡进行。试验地为

收稿日期:2011-04-07
基金项目:2007年河南省测土施肥试点补助资金项目
作者简介:赵法成(1967-),男,河南延津人,高级农艺师,主要从事农业新技术推广、新品种利用和项目实施工作。
E-mail:yjzhaofacheng@126.com

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

砂质壤土，前作小麦，土壤肥力中等偏上，耕层土壤养分含量为：有机质 12.8 g/kg、全氮 0.88 g/kg、有效磷 16.1 mg/kg、速效钾 122.4 mg/kg。供试花生品种为豫花 15 号，氮肥为尿素（含 N≥46.3%），磷肥为过磷酸钙（含 P_2O_5≥16%），钾肥为进口氯化钾（含 K_2O≥60%）。试验设计采用“3414”设计，小区面积 20 m^2，重复 3 次，于 5 月 14 日麦垄点种，田间管理按高产田管理要求进行，试验因素水平编码值见表 1。

表 1 试验因素水平编码 kg/hm^2

因素	水平			
	0	1	2	3
氮肥（N）	0	60	120	180
磷肥（P_2O_5）	0	60	120	180
钾肥（K_2O）	0	30	60	90

2 结果与分析

2.1 花生产量和回归模型的建立

根据表 2，建立以花生荚果产量为因变量，以 N、P、K 编码值为自变量的三元二次肥效模型（N、P、K 分别以 x_1，x_2，x_3 表示），经 SAS 统计分析软件计算，得到 $\hat{y}=2658.416+661.927x_1+735.960x_2-75.381x_3-86.471x_1^2-64.290x_2^2-25.432x_3^2-167.365x_1x_2+149.373x_1x_3-41.073x_2x_3$（$F=42.25^{**}$，$P=0.0013$，$R^2=0.9896$）。

表 2 试验结构矩阵与花生荚果产量结果

试验号	编码值			荚果产量（y）/（kg/hm^2）
	N（x_1）	P_2O_5（x_2）	K_2O（x_3）	
1	0	0	0	2669.92
2	0	2	2	3495.80
3	1	2	2	3934.96
4	2	0	2	3983.76
5	2	1	2	4284.97
6	2	2	2	4434.03
7	2	3	2	4345.35
8	2	2	0	4167.35
9	2	2	1	4397.80
10	2	2	3	4378.68
11	3	2	2	4504.47
12	1	1	2	3656.07
13	1	2	1	4034.20
14	2	1	1	4083.97

2.2 回归模型的优化与解析

2.2.1 模拟寻优 为挖掘模型所蕴藏的施肥量与产量信息，求解施肥技术参数，采用数学模拟仿真因素取值的频率分析，在约束条件 $0\leqslant x_i\leqslant 3$（$i=1,2,3$）下，取步长为 0.2，依据试验结果，取产量下限为 4 500 kg/hm^2 进行模拟，得出氮、磷、钾因素码值及产量的 0.95 置信区间（表 3）。如表 3 所示，花生产量≥4 500 kg/hm^2 的氮、磷、钾优化施肥决策为：施纯 N 166.74～171.84 kg/hm^2（$\bar{x}_1=169.26$）、P_2O_5 73.92～93.54 kg/hm^2（$\bar{x}_2=83.76$）、K_2O 74.91～79.62 kg/hm^2（$\bar{x}_3=77.25$），期望产量为 4 588.70～4 622.71 kg/hm^2（$\bar{y}=4605.71$）。

表 3 花生产量≥4 500 kg/hm^2 的施肥决策模拟结果

项目		N（x_1）	P_2O_5（x_2）	K_2O（x_3）	模拟产量（y）/（kg/hm^2）
码值	平均值	2.821	1.396	2.575	4605.71
	标准误	0.218	0.834	0.401	8.674
	95%置信区间	2.779～2.864	1.232～1.559	2.497～2.654	4588.70～4622.71
实际值/（kg/hm^2）		169.26	83.76	77.25	
		（166.74～171.84）	（73.92～93.54）	（74.91～79.62）	

2.2.2 两因素交互效应分析 根据 14 个处理组合，固定任意一因素 $x_i=2$（$i=1,2,3$）水平，求得另两因素的二元二次回归模型：

氮磷 $\hat{y}_{NP}=2090.673+1147.735x_1+841.079x_2-98.492x_1^2-76.311x_2^2-248.614x_1x_2$（$R^2=0.9865$），

氮钾 $\hat{y}_{NK}=3478.256+569.344x_1+84.620x_3-107.344x_1^2-46.305x_3^2+55.630x_1x_3$（$R^2=0.9771$），

磷钾 $\hat{y}_{PK}=3070.946+760.847x_2+582.779x_3-104.110x_2^2-161.241x_3^2-65.252x_2x_3$（$R^2=0.9914$）。

对以上二元二次回归模型，利用二元函数取得极大值的充分条件。

$$(1)\text{由}\begin{cases}\dfrac{\partial\hat{y}}{\partial x_i}=0\\[2ex]\dfrac{\partial\hat{y}}{\partial x_j}=0\end{cases}\text{解得稳定点 }P_0=P(x_i^0,x_j^0);$$

$$(2)\left[\frac{\partial^2\hat{y}}{\partial x_i^2}\cdot\frac{\partial^2\hat{y}}{\partial x_j^2}-\left(\frac{\partial\hat{y}}{\partial x_i\partial x_j}\right)^2\right]\Bigg|_{P_0}>0,\text{且}\frac{\partial^2\hat{y}}{\partial x_i^2}\Bigg|_{P_0}<0。$$

对上述二元二次函数进行检验，如符合上述条件，说明此函数效应曲面为椭圆型，驻点处有极大值，可采用求 $\hat{y}$ 对 x_1 的偏导数，并令其为零，即 $\frac{\partial\hat{y}}{\partial x_i}=0$，求解两因素的施肥参数。

经检验得出，3 个二元回归模型均不满足上述条

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

件,各二元模型的稳定点均超出试验的码值界限。因此都不能直接通过求偏导求解施肥参数,只能采用数学模拟仿真因素取值的频率分析方法挖掘回归模型中所蕴藏的施肥信息,根据试验结果,取产量下限为 4 500 kg/hm² 进行模拟,从模拟结果(表 4)可以看出,施纯 N 170.16 kg/hm²,P_2O_5 63.84 kg/hm²,氮磷互作产量为 4 586.16 kg/hm²;施纯 N 169.14 kg/hm²,K_2O 71.70 kg/hm²,氮钾互作产量为 4 531.18 kg/hm²;施 P_2O_5 159.12 kg/hm²,K_2O 38.52 kg/hm²,磷钾互作产量为 4 575.51 kg/hm²。

表 4　花生产量≥4 500 kg/hm² 的两因素互作施肥决策模拟结果

因素		码值平均及变幅 $\bar{x}(\bar{x}\pm t_{0.05}S_x)$	施肥量平均及变幅/(kg/hm²) $\bar{x}(\bar{x}\pm t_{0.05}S_x)$	互作产量平均及变幅/(kg/hm²) $\bar{y}(\bar{y}\pm t_{0.05}S_y)$
NP	N	2.836(2.778～2.893)	170.16(166.68～173.58)	4 586.16(4 565.50～4 606.83)
	P_2O_5	1.064(0.840～1.289)	63.84(50.40～77.34)	
NK	N	2.819(2.748～2.890)	169.14(164.88～173.40)	4 531.18(4 522.85～4 539.52)
	K_2O	2.390(2.208～2.573)	71.70(66.24～77.19)	
PK	P_2O_5	2.652(2.566～2.740)	159.12(153.96～164.40)	4 575.51(4 562.32～4 588.71)
	K_2O	1.284(1.134～1.435)	38.52(34.02～43.05)	

2.2.3　**单因素效应分析**　据表 2,固定任意两因素于 2 水平,利用对应各处理小区的试验数据,依次建立以花生荚果产量为目标函数的 N、P、K 一元二次回归模型如下:

$\hat{y}_N = 3\,471.373 + 629.048x_1 - 92.180x_1^2$ ($R^2 = 0.9821$),

$\hat{y}_P = 3\,979.480 + 415.085x_2 - 97.475x_2^2$ ($R^2 = 0.9968$),

$\hat{y}_K = 4\,172.482 + 281.372x_3 - 71.450x_3^2$ ($R^2 = 0.9879$)。

对以上一元二次回归模型求出不同码值的理论产量及其变幅(s),借以评定各因素的增产效果。与此同时,对方程求导数,求出各因素效应曲线于不同取值水平的瞬时增(减)产速率,结果见表 5。从表 5 看出,氮、磷、钾三要素的增产效应依次为氮>磷>钾,氮、磷肥随施肥量的增加,增产速率随之下降,其下降的速率以氮肥为最大,磷肥次之。当氮肥超过高产最大施肥量码值 3.0000(折纯氮 180 kg/hm²),产量还可增加;磷肥超过 2.1290(折施 P_2O_5 127.74 kg/hm²),则产量急剧下降,故应控制其合理施用范围;钾肥的增产作用远不如氮、磷肥,但随着施钾量的增加,增产速率下降相对较小,适当超量施用钾肥,不致于对产量产生明显的负面影响。3 种肥料高产的最大施肥量码值 N 肥为 3.0000(折纯氮 180 kg/hm²),产量期望为 4 528.90 kg/hm²;P_2O_5 码值为 2.1290(折 P_2O_5 127.74 kg/hm²),产量期望为 4 421.38 kg/hm²;K_2O 码值 1.9690(折 K_2O 59.07 kg/hm²),产量期望 444 950 kg/hm²。

表 5　氮、磷、钾单因素效应模型理论产量变幅与增(减)产瞬时速率

肥料	指标	编码水平 0	1	2	3	极值点码值	产量极大值/(kg/km²)	平均产量/(kg/km²)	标准差
N	产量	3 471.37	4 008.24	4 360.75	4 528.90	3.0000	4 528.90	4 092.32	467.37
	速率	629.05	444.69	260.33	75.97				
P_2O_5	产量	3 979.48	4 297.09	4 419.75	4 347.46	2.1290	4 421.38	4 260.95	194.28
	速率	415.09	220.14	25.19	−169.77				
K_2O	产量	4 172.48	4 382.40	4 449.43	4 373.55	1.9690	4 449.50	4 344.47	119.55
	速率	281.37	138.47	−4.42	−147.33				

2.2.4　**施肥决策及期望产量的经济效益分析**　将上述 3 类函数 7 种模型提供的施肥决策及产量期望进行经济效益分析,结果列于表 6。从表 6 可以看出,NPK 三元二次全信息回归模型提供施肥决策的产量期望为 4 605.71 kg/hm²,居 7 种模型之首位,由于肥料投资较高,产投比 18.13 相对较低;NP 二元二次回归模型的施肥量所对应的产量 4 586.16 kg/hm² 虽居第 2 位,比前者产量仅低 19.55 kg/hm²,但由于肥料投资成本最低,产投比 20.55 高于 NPK 全信息回归模型。众所周知,在农

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

业生产中不仅要追求高产量，更重要的是要获得高效益，为此，应当决选 NP 二元回归模型提供的施肥决策：施纯 N 170.16 kg/hm²，P_2O_5 63.84 kg/hm²，K_2O 60.00 kg/hm²，可望获得花生荚果产量 4 586.16 kg/hm²，净收益 27 486.60 元/hm²，宜作为新乡市东部地区花生种植的推荐施肥方案。

表 6 3 类函数 7 种肥料效应模型提供的施肥决策及产量期望经济效益

模型类型	施肥量/(kg/hm²)			花生产量/(kg/hm²)	产值/(元/hm²)	肥料投资/(元/hm²)	产投比
	N	P_2O_5	K_2O				
NPK	169.26	83.76	77.25	4 605.71	29 015.97	1 600.05	18.13
NP	170.16	63.84	60.00	4 586.16	28 892.81	1 406.21	20.55
NK	169.14	120.00	71.70	4 531.18	28 546.43	1 774.72	16.09
PK	120.00	159.12	38.52	4 575.51	28 825.71	1 611.67	17.89
N	180.00	120.00	60.00	4 528.90	28 532.07	1 764.00	16.17
P	120.00	127.74	60.00	4 421.38	27 854.69	1 543.34	18.05
K	120.00	120.00	59.07	4 449.50	28 031.79	1 495.45	18.74
平均	149.79	113.49	60.94	4 528.33	28 528.48	1 599.32	17.84

注：1. 以 N=4.4 元/kg，P_2O_5=5.6 元/kg，K_2O=5.0 元/kg，花生荚果单价 6.3 元/kg 计；2. 两因素效应模型在另一因素取 2 水平求得；单因素效应模型在另两因素取 2 水平求得

3 结论

根据 7 种模型提供的施肥决策与产量期望的经济效益分析，决选出 NP 二元回归模型提供的施肥决策，即施纯 N 170.16 kg/hm²，P_2O_5 63.84 kg/hm²，K_2O 60 kg/hm²，可获花生产量 4 586.16 kg/hm²，产投比 20.55，宜作为新乡市东部地区花生的推荐施肥决策。

参考文献：

[1] 刘顺国，郎家庆，赵斌，等. 昌图县花生“3414”田间试验结果初报[J]. 农业科技与装备，2009(5)：7-9.

[2] 靳红玉，雷春贤，朱春玲，等. 大荔县花生“3414”肥效试验[J]. 现代农业科技，2009(6)：156-157.

[3] 宁凤荣，蔡义，孟庆辉，等. 彰武县花生“3414”田间试验结果初报[J]. 农业科技与装备，2008(8)：7-9.

[4] 王圣瑞，陈新平，高祥照，等. “3414”肥料试验模型的拟合性的探讨[J]. 植物营养与肥料学报，2002，8(4)：409-413.

[5] 战秀梅，韩晓日，王帅，等. 应用“3414”肥料试验模型求解玉米施肥参数的研究[J]. 河南农业科学，2009(1)：51-53.

[6] 王兴仁，张福锁. 现代肥料试验设计[M]. 北京：中国农业出版社，1996：93-98.

[7] Duane H，Bruce L. 精通 Matlab 7[M]. 朱仁峰，译. 北京：清华大学出版社，2006：286-294.

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net