

文章编号:1003-8701(2010)03-0001-05

大豆长农 18 高油栽培综合农艺措施数学模型分析

陈喜凤², 谷岩², 王楠^{2,3}, 李琰², 岳杨², 吴春胜¹

(1. 吉林农业大学作物研究中心, 长春 130118; 2. 吉林农业大学农学院, 长春 130118;
3. 吉林省农业科学院, 长春 130033)

摘 要: 本试验采用 4 因素 5 水平二次回归正交旋转组合设计方法, 以大豆子粒脂肪含量为目标, 种植密度及氮、磷、钾肥施用量为试验因子, 研究了不同施肥量和种植密度对中晚熟大豆品种长农 18 脂肪含量的影响。建立了 4 项农艺措施与产量关系的数学模型, 并解析了数学模型, 指出了各因子的理想搭配模式及其适宜取值范围。从而得出了长农 18 高脂肪栽培措施的技术方案, 为吉林省中部地区大豆高脂肪栽培提供了参考依据。

关键词: 大豆; 施肥; 密度; 脂肪

中图分类号: S565.1

文献标识码: A

A Mathematical Model for Analysis of Comprehensive Agronomic Measures of Cultivation of High-fat Soybean ‘Changnong18’

CHEN Xi-feng², GU yan², WANG Nan^{2,3}, LI Yan², YUE Yang², WU Chun-sheng¹

(1. Crop Research Center of Crop, Jilin Agricultural University, Changchun 130118;

2. College of Agronomy, Jilin Agricultural University, Changchun 130118;

3. Academy of Agricultural Sciences of Jilin Province, Changchun 130033, China)

Abstract: Using four-factor and five-level quadratic rotational regression combination design and taking soybean fat as goal, taking density and application rate of nitrogen, phosphorus and potassium as research test factors, the influences of different fertilizer application and density of crop to the yield of the middle-late-maturing soybean cultivar ‘Changnong 18’ has been studied in the experiment. The mathematical models of the fat and fertilizer application and density of crop have been established and analyzed. The ideal match pattern of various factors and their suitable value scope has been pointed out. The comprehensive cultivation measures for cultivation of high fat of soybean cultivar ‘Changnong 18’ was obtained. This provided reference for high-fat soybean cultivation in the central region of Jilin Province.

Keywords: Soybean; Fertilizer application; Density; Fat

大豆是一种高蛋白、高脂肪的豆科作物, 其子粒的蛋白质含量高达 40% 以上, 含有人类所必需的 8 种氨基酸; 脂肪含量平均为 20%, 最高的品种可达 23.61%。有关大豆的品质越来越受到人们的重视。脂肪和蛋白质含量除了受遗传因素控制外,

还受气候因素和栽培措施的影响^[1-6]。我国目前加工的大豆有 70% 用于浸油, 因此大豆子粒脂肪含量的高低直接关系到大豆产业的发展和国民经济水平的提高。为此, 本试验采用二次回归正交旋转组合的设计方法^[7-10], 研究了不同栽培措施对大豆脂肪含量的影响, 初步探讨了种植密度和肥料措施与子粒脂肪含量的关系, 并求得各栽培措施在大豆品质形成中的主次关系, 因素间的交互作用, 得出中晚熟大豆品种长农 18 高脂肪栽培的技术方案, 在生产上具有一定的指导意义。

收稿日期: 2009-12-10

作者简介: 陈喜凤(1984-), 男, 硕士研究生, 主要从事作物优质高产理论与技术研究。

通讯作者: 吴春胜, 教授, 博士生导师, E-mail: wcs8131587@yahoo.com.cn

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试品种为长农 18 ,来自长春市农科院。供试土壤为典型黑土 ,前茬作物为玉米。基本理化指标为:全氮量 1.645 g/kg ,全磷量 0.86 g/kg ,碱解氮 120 mg/kg ,速效磷 16.5 mg/kg ,速效钾 122 mg/kg ,有机质 26.9 g/kg ,pH 6.8。

1.2 田间试验设计

试验于 2008 年在吉林农业大学作物研究中心、大豆区域技术创新中心试验田进行。

试验采用二次回归正交旋转组合设计 ,按照 4 因素 5 水平方案实施 ,所选因素、设计水平及编码见表 1。试验共设 36 个小区 ,随机排列 ,小区行长 5 m ,行数 5 行 ,行距 0.65 m ,小区面积 16.25 m²。成熟期 ,每小区实收 6 m² ,待子粒水分降到安全水分使用瑞士产 DA- 7200 近红外谷物分析仪测定子粒脂肪含量。

表 1 自变量设计水平及编码值 kg/hm²

试验因素	水平间距	编码因子水平(r=2)				
		- 2	- 1	0	1	2
X1(尿素)	17.96 kg	0	17.96	35.92	53.88	71.83
X2(磷酸二铵)	65.22 kg	0	65.22	130.44	195.65	260.87
X3(硫酸钾)	30.00 kg	0	30	60	90	120
X4(密度)	5 万株	15	20	25	30	35

2 结果与分析

2.1 中晚熟大豆长农 18 子粒脂肪含量方程建立

将 36 个小区的试验结果(表 2) ,按二次回归正交旋转组合设计分析方法 ,通过计算机应用 Dps 数据处理软件进行处理和统计分析 ,得到 N、P、K 和密度 4 个试验因素对大豆产量的回归模型如下 :

$$Y=20.828\ 33-0.163\ 33X_1+0.410\ 83X_2+0.356\ 67X_3-0.255\ 83X_4-0.004\ 38X_1^2+0.015\ 62X_2^2-0.091\ 87X_3^2+0.004\ 37X_4^2-0.133\ 75X_1X_2+0.037\ 50X_1X_3-$$

$$0.022\ 50X_1X_4-0.173\ 75X_2X_3+0.126\ 25X_2X_4-0.020\ 00X_3X_4$$

检验回归方程的有效性 ,对方程进行失拟性方差测验和显著性测验 :失拟性检验 , $F_1=0.895<F_{0.05}(10\ ,11)=2.85$,因此失拟性不显著 ,说明回归方程对试验点的拟合程度比较好 ,无失拟因素存在 ;显著性测验 , $F_2=12.506>F_{0.01}(14.21)=3.07$,说明回归方程达到极显著水平 ,试验数据与采用的二次数学模型基本符合 ,方程与实际情况拟合得较好 ,具有实践指导意义 ,可以直接利用模型作进一步分析。

表 2 各处理小区组合及试验结果

区号	X1	X2	X3	X4	脂肪(%)	区号	X1	X2	X3	X4	脂肪(%)
1	1	1	1	1	20.98	19	0	-2	0	0	19.98
2	1	1	1	-1	21.21	20	0	2	0	0	21.68
3	1	1	-1	1	20.56	21	0	0	-2	0	19.45
4	1	1	-1	-1	21.01	22	0	0	2	0	21.35
5	1	-1	1	1	20.56	23	0	0	0	-2	21.28
6	1	-1	1	-1	21.27	24	0	0	0	2	20.29
7	1	-1	-1	1	19.45	25	0	0	0	0	21.01
8	1	-1	-1	-1	20.32	26	0	0	0	0	20.55
9	-1	1	1	1	21.48	27	0	0	0	0	20.86
10	-1	1	1	-1	21.57	28	0	0	0	0	20.75
11	-1	1	-1	1	21.19	29	0	0	0	0	20.92
12	-1	1	-1	-1	21.49	30	0	0	0	0	21.05
13	-1	-1	1	1	20.18	31	0	0	0	0	20.48
14	-1	-1	1	-1	21.39	32	0	0	0	0	20.73
15	-1	-1	-1	1	19.78	33	0	0	0	0	21.32
16	-1	-1	-1	-1	20.08	34	0	0	0	0	20.78
17	-2	0	0	0	21.28	35	0	0	0	0	20.48
18	2	0	0	0	20.22	36	0	0	0	0	21.01

对上述模型各项次的偏回归系数作 F 测验 ,可知 ,施氮量($F_1=-0.16^*$)、施磷量($F_2=0.41^{**}$)、施钾量($F_3=0.36^{**}$)、密度($F_4=-0.26^*$)的一次项均达到显著和极显著水平。说明 4 个因素对脂肪含量均有影响。平方项 X_3^2 ($F_{3.3}=-0.09^*$)和互作项 X_1X_2 ($F_{12}=-0.134^*$)、

X_2X_3 ($F_{1.2}=-0.17^*$)、 X_2X_4 ($F_{1.2}=0.13^*$)都达到显著水平 ,其余各项均不显著。那么 ,剔除不显著项后所得的简化回归方程为:

$$Y=20.828\ 33-0.163\ 33X_1+0.410\ 83X_2+0.356\ 67X_3-0.255\ 83X_4-0.091\ 87X_3^2-$$

$0.133\ 75X_1X_2-0.173\ 75X_2X_3+0.126\ 25X_2X_4$

2.2 脂肪含量数学模型的解析

2.2.1 单因素效应分析

从产量的回归模型中可知 ,施氮量(X_1)、施磷量(X_2)、施钾量(X_3)、种植密度(X_4)的偏回归系数分别为 - 0.163 33、0.410 83、0.356 67、- 0.255 83 ,由此可知增加施磷量、施钾量 ,适当降低施氮量和种植密度都可以提高子粒脂肪含量。从 4 者的绝对值可知其对脂肪含量影响的重要性为施磷量(X_2)> 施钾量(X_3)> 种植密度(X_4)> 施氮量(X_1)。采用降维法分析 4 个因素在模型中的作用和在生产实践中的定量标准 现固定 3 个因素为零水平 ,则可得各因素与脂肪含量之间的效应方程如下:

$Y=20.828\ 33-0.163\ 33X_1-0.004\ 38X_1^2$

$Y=20.828\ 33+0.410\ 83X_2+0.015\ 62X_2^2$

$Y=20.828\ 33+0.356\ 67X_3-0.091\ 87X_3^2$

$Y=20.828\ 33-0.255\ 83X_4+0.004\ 37X_4^2$

根据上面的效应方程可作出各因素与脂肪含量的关系图(图 1)。从图 1 可以看出 ,4 个试验因素中随着磷肥和钾肥施用量的增加大豆子粒脂肪含量也逐渐增加 ,而随着施氮量和种植密度的增加脂肪含量逐渐降低 ,这恰好与磷、钾肥的变化方向相反。在本试验中磷肥和钾肥在高水平时有利于子粒脂肪含量的积累 ,氮肥和种植密度在低水平时有利于脂肪含量的累积。

2.2.2 互作效应分析

2.2.2.1 施氮量与施磷量的互作效应

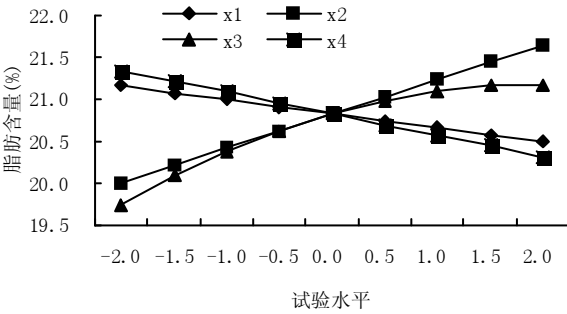


图 1 试验因子单因素效应分析

利用已建立的 4 因素数学模型 ,把 X_3 、 X_4 固定在零水平 ,便可获得 X_1 和 X_2 对产量的效应子模型:

$Y=20.828\ 33-0.163\ 33X_1+0.410\ 83X_2-0.004\ 38X_1^2+0.015\ 62X_2^2-0.133\ 75X_1X_2$

将氮素与磷素的不同取值水平代入上面方程计算产量得表 3。由表 3 可以看出 ,当氮肥从低水平 - 2 到高水平 +2 时 ,大豆子粒脂肪含量随着施磷量的增加而一直增高 ,在磷肥用量 +2 水平时达到最高值 ;由表中的 CV 值可知当氮肥处于 - 2 水平时磷肥的变化对子粒脂肪含量的影响最显著 ,此时 CV 值最大为 5.07% ;而氮肥处于 +2 水平时 CV 值最小 ,仅为 1.11%。

表 3 施氮量与施磷量的互作效应分析

N	P	编码值					Y	S	CV(%)
		- 2	- 1	0	1	2			
编码值	- 2	19.80	20.48	21.16	21.83	22.51	21.16	1.07	5.07
	- 1	19.90	20.45	20.99	21.54	22.08	20.99	0.86	4.10
	0	20.01	20.42	20.83	21.24	21.65	20.83	0.65	3.12
	1	20.11	20.39	20.67	20.94	21.22	20.67	0.44	2.12
	2	20.22	20.36	20.50	20.65	20.79	20.50	0.23	1.11
Y		20.01	20.42	20.83	21.04	21.65			
S		0.17	0.05	0.26	0.47	0.68			
CV(%)		0.82	0.23	1.24	2.23	3.15			

当磷肥在低水平-2 上时 ,所对应的子粒脂肪含量随着氮肥的增加而略有升高 ;而磷肥在-1 水平到+2 水平处 ,此时脂肪含量随着氮肥用量的增加而一直降低。磷肥处于+2 水平时 ,脂肪含量受氮肥的影响变化最明显 ,所对应的 CV 值最大为 3.15%。

由以上分析得出 ,低氮、低磷和高氮、高磷脂肪含量都不高 ,而高水平的磷肥和低水平的氮肥配合施用可获得较高的脂肪含量。

2.2.2.2 施磷量与施钾量的互作效应

利用已建立的 4 因素数学模型 ,把 X_1 、 X_4 固定在零水平 ,便可获得 X_2 和 X_3 对产量的效应子

模型:

$Y=20.828\ 33+0.410\ 83X_2+0.356\ 67X_3+0.015\ 62X_2^2-0.091\ 87X_3^2-0.173\ 75X_2X_3$

将磷素与钾素的不同取值水平代入方程计算产量 (表 4)。

从表 4 看出 ,当磷肥在低水平 - 2 到中水平 0 时 ,随着施钾量的增加子粒脂肪含量也随之增加 ,均在钾肥最大用量 +2 水平处达到最高值 ;而当磷肥在 +1、+2 水平上时 ,脂肪含量先是随着钾肥用量的增加而升高而后又逐渐下降 ,最高值分别出现在施钾量 +1 和 0 水平时。由表中 CV 值可知不同磷

肥用量水平中,-2 水平所对应的 CV 值最大为 5.685%,说明当磷肥在-2 水平时施钾量的改变对脂肪含量的影响最明显。当磷肥在+2 水平时,CV 值仅为 0.801%,说明此时子粒脂肪含量主要是受磷肥的效应影响,而钾肥对其无影响或影响较小。

当钾肥在低水平-2 到高水平+2 上时,各水平上所对应的脂肪含量随着磷肥用量的增加而一直升高。不同钾肥用量水平所对应的 CV 值中以-2 水平上的最高为 6.07%,说明此时磷肥的变化对脂肪含量影响最显著。

表 4 施磷量和施钾量的互作效应分析

P	K	编码值					Y	S	CV(%)
		- 2	- 1	0	1	2			
编码值	- 2	18.231	19.211	20.007	20.619	21.048	19.823	1.127	5.685
	- 1	18.989	19.795	20.418	20.856	21.111	20.234	0.856	4.231
	0	19.748	20.380	20.828	21.093	21.174	20.645	0.590	2.858
	1	20.506	20.964	21.239	21.330	21.238	21.055	0.336	1.596
	2	21.264	21.549	21.650	21.567	21.301	21.466	0.172	0.801
Y		19.748	20.380	20.828	21.093	21.174			
S		1.199	0.924	0.650	0.375	0.100			
CV(%)		6.072	4.534	3.121	1.778	0.472			

由以上分析得出,虽然磷肥和钾肥对脂肪含量的影响均呈正效应,但当二者用量同时增加时,脂肪含量并不是随之一直升高。从表中可看出脂肪含量最大值并不是出现在磷肥和钾肥的最高用量处,而是出现在磷肥+2 水平、钾肥 0 水平时。

2.2.2.3 施磷量与种植密度的互作效应

利用已建立的 4 因素数学模型,把 X_1 、 X_3 固定在零水平,便可获得 X_2 和 X_4 对产量的效应子模型:

$$Y=20.828\ 33+0.410\ 83X_2-0.255\ 83X_4+$$

$0.004\ 37X_4^2+0.015\ 62X_2^2+0.126\ 25X_2X_4$
将氮素与磷素的不同取值水平代入方程计算产量(表 5)。

由表 5 可知,磷肥在-2~+2 水平时,大豆子粒脂肪含量随着种植密度的增加而逐渐降低,二者呈现负效应。磷肥在低水平-2 时所对应的 CV 值最大为 4.019%,说明种植密度的变化对低磷处理下的脂肪含量影响最显著;高水平+2 时 CV 值最小仅为 0.023%,脂肪含量变化不大,这可能是此时脂肪含量主要是受磷肥的效应影响所致。

表 5 施磷量和种植密度的互作效应分析

P	密度	编码值					Y	S	CV(%)
		- 2	- 1	0	1	2			
编码值	- 2	21.02	20.52	20.01	19.50	18.99	20.01	0.80	4.019
	- 1	21.18	20.80	20.42	20.04	19.65	20.41	0.60	2.958
	0	21.34	21.08	20.83	20.57	20.32	20.83	0.41	1.944
	1	21.50	21.37	21.24	21.11	20.98	21.24	0.21	0.965
	2	21.66	21.65	21.65	21.65	21.64	21.65	0.01	0.023
Y		21.34	21.08	20.83	20.57	20.32			
S		0.25	0.45	0.65	0.85	1.05			
CV(%)		1.172	2.134	3.121	4.127	5.163			

本试验中无论种植密度处于哪个水平上,随着磷肥用量的增加子粒脂肪含量一直升高,各水平均在施磷量最大值+2 水平达到最高值。种植密度+2 水平上所对应的 CV 值最大为 4.13%,说明此时施磷量的改变对脂肪含量变化最明显。

表中脂肪含量最高值出现在磷肥+2 水平和种植密度-2 水平时,最大值为 21.66。因此得出,高水平的磷肥和较低的密度相互配合可获得较高的脂肪含量。

2.3 中晚熟大豆长农 18 高脂肪栽培技术方案的模拟寻优

将试验结果输入计算机进行模拟运算共获得

$5^4=625$ 个组合的理论含量,采用频数分析法进行模拟寻优分析,在本试验中,中晚熟品种长农 18 各小区实际脂肪含量都在 19.45%以上,故此在栽培措施选优上将目标定为 21.7%以上。分别对各因子水平分析得到表 6。

从表 6 各因子频率表可看出,长农 18 脂肪含量大于 21.70%的方案共有 81 个。由表可知,在大豆高脂肪栽培措施中,氮肥、磷肥、钾肥以及种植密度处理条件下获得子粒脂肪含量在 21.70%以上的最佳实施方案为:尿素 8.82~16.90 kg/hm²,磷酸二氨 182.49~220.12 kg/hm²,硫酸钾 71.97~88.77 kg/m²,种植密度 20.31~23.40 万株/hm²。

表 6 脂肪含量在 21.7% 以上的主要栽培措施($Y \geq 21.7\%$)

X _i		X ₁		X ₂		X ₃		X ₄	
编码值	次数	频率	次数	频率	次数	频率	次数	频率	
- 2	43	53.09	8	9.88	6	7.41	33	40.74	
- 1	29	35.8	5	6.17	11	13.58	15	18.52	
0	2	2.47	5	6.17	15	18.52	12	14.81	
1	3	3.7	17	20.99	20	24.69	12	14.81	
2	4	4.94	46	56.79	29	35.8	9	11.11	
合计	81	100	81	100	81	100	81	100	
加权均值	- 1.284		1.086		0.679		- 0.63		
标志误	0.115		0.147		0.143		0.158		
95%的置信区间	- 1.509~1.059		0.798~1.375		0.399~0.959		- 0.938~0.321		
农艺措施	8.82~16.90		182.49~220.12		71.97~88.77		20.31~23.40		

3 讨 论

本试验研究了施肥量和种植密度对大豆脂肪含量的影响 ,建立并解析了数学模型 ,通过计算机模拟寻优 ,筛选出了优化的栽培方案 ,提出了大豆高脂肪栽培技术措施。主要研究结论如下:

- 3.1 各因素对长农 18 脂肪含量的贡献率为施磷量(X_2)> 施钾量(X_3)> 种植密度(X_4)> 施氮量(X_1)。
- 3.2 长农 18 四个试验因素中 ,磷肥和钾肥与大豆子粒脂肪含量呈现正相关 ,丁洪^[11]、张继榛^[12]、王继安^[13]、李玉颖^[14]等人也得出同样的结论 ;而氮肥和种植密度与脂肪含量表现为负相关。在本试验中磷肥和钾肥在高水平时有利于子粒脂肪含量的积累 ,而氮肥和种植密度在低水平时有利于脂肪含量的积累。长农 18 各项栽培措施中氮肥和磷肥、磷肥和钾肥、磷肥和种植密度之间存在着显著的交互作用。低氮、低磷和高氮、高磷脂肪含量都不高 ,而高水平的磷肥和低水平的氮肥配合施用可获得较高的脂肪含量。虽然磷肥和钾肥对脂肪含量的影响均呈正效应 ,但当二者用量同时增加时 ,脂肪含量并不是随之一直升高 ,二者互作效应分析得出脂肪含量最大值并不是出现在磷肥和钾肥的最高用量处 ,而是出现在磷肥 +2 水平、钾肥 0 水平时。磷肥和种植密度之间的互作表现为 ,低磷、高密度时脂肪含量最低 ,而高磷和较低的密度时脂肪含量最高。因此 ,高水平的磷肥和较低的种植密度相互配合可获得较高的脂肪含量。
- 3.3 长农 18 脂肪含量大于 21.70% 以上的最佳实

施方案为: 只要在尿素 8.82~16.90 kg/hm² ,磷酸二氨 182.49~220.12 kg/hm² , 硫酸钾 71.97~88.77 kg/m² 种植密度 20.31~23.40 万株 /hm² 的范围内 , 即有 95% 的保证率达到预期目标。

参考文献 :

[1] 宁海龙 ,张大勇 ,李文霞 ,等 . 不同肥料对大豆蛋白质和脂肪含量的影响[J] . 黑龙江农业科学 ,2001(6) :16- 18 .

[2] Wesley T. L. , Lamond R. E. , Martin V. L. , et al . Effects of late-season nitrogen fertilizer on irrigated soybean yield and composition[J].Production Agriculture ,1998 ,11(3):3312- 3361 .

[3] Streeter JG. Effect of Nstarvation of soybean plant satvarious stage of growth on seed yield and Nconcentration of plant part satmaturity[J]. Agronomy Journal ,1978(70):74- 76 .

[4] 杨庆凯 . 论大豆蛋白质与油分含量品质的变化及影响的因素[J] . 大豆科学 ,2000 ,19(4) :386- 391 .

[5] 孙 钊 ,等 . 大豆(*Glycine max* L. Merr.)品质与环境因素关系的研究[D] . 河南农业大学 ,2006 .

[6] 郑淑琴 . 钾对大豆生理效应及产量和品质的影响[J] . 黑龙江农业科学 ,2001(4):25- 27 .

[7] 盖钧镒 . 试验统计方法[M] . 北京:中国农业出版社 ,2000 .

[8] 丁希泉 . 农业应用回归分析[M] . 长春 :吉林科技出版社 ,1986 .

[9] 徐中儒.回归分析与试验设计[M] . 北京 :中国农业出版社 ,1998 .

[10] 孙酉石 . 回归旋转组合设计方法在玉米模式化栽培研究中的应用[J] . 吉林农业大学学报 ,1989 ,11(3):10- 13 .

[11] 丁 洪 ,郭庆元 ,李志玉 . 磷对大豆不同品种产量和品质的影响[J] . 中国油料作物学报 ,1996 ,6(2) :66- 70 .

[12] 张继榛 ,郑 路 ,竺伟民 ,等 . 大豆硫磷配施的效应研究[J] . 安徽农业大学学报 ,2000 ,27(增刊) :176- 181 .

[13] 王继安 ,徐 杰 ,宁海龙 ,等 . 施用大、中、微量元素对大豆品质及其它性状的影响[J] . 大豆科学 2003 ,22(4) 273- 277 .

[14] 李玉颖 ,梁 红 ,张东铁 ,等 . 钾对大豆产量及品质的影响 [J] . 土壤肥料 ,1993(2):24- 26 .