

## 菜用大豆毛豆 3 号高产农艺措施数学模型研究

唐永晖

(福建省连江县种子管理站, 福建 连江 350500)

**摘要:** 为探讨菜用大豆新品种毛豆 3 号高产栽培技术模式, 采取二次回归正交旋转组合设计研究了毛豆 3 号产量与纯氮、五氧化二磷、氧化钾及种植密度等主要栽培因子的数量关系, 建立了产量与 4 项主要栽培因子关系的数学模型。结果表明施纯氮的增产效果最明显, 当纯氮量为  $225.0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  时, 产量最高, 达  $10\,509.54 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ; 其次是氧化钾, 增产较明显, 当氧化钾为  $225.0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  时, 产量最高, 达  $10\,473.44 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。在一定范围内, 五氧化二磷用量对产量有增产的影响, 但超过某一范围, 增产呈下降的趋势。种植密度越大, 产量反而下降, 因该品种分枝性强, 控制密度尤为重要。以毛豆 3 号鲜荚产量在  $10\,000 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  以上为目标产量的最优栽培方案: 纯氮  $130.05 \sim 147.80 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 五氧化二磷  $284.27 \sim 313.97 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 氧化钾  $144.77 \sim 161.03 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 种植密度  $20.15 \text{ 万} \sim 21.33 \text{ 万株} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

**关键词:** 菜用大豆; 毛豆 3 号; 栽培措施; 数学模型

**中图分类号:** S 565.103

**文献标识码:** A

### An Agronomic Model of High-yield Cultivation for Soybean, Maodou 3

TANG Yong-hui

(Lianjiang County Seed Management Station, Lianjiang, Fujian 350500, China)

**Abstract:** In searching for high yield cultivation techniques for a new vegetable soybean variety, Maodou 3, a mathematical model was established. Correlation between the soybean yield and its major agronomic measures, including N,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  applications and planting density, was studied using a quadric universal rotation design. The results showed that N had the greatest effect on yield among different fertilizers, with a maximum seed yield of  $10\,509.54 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  at  $225.0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  N fertilization. At the same application level,  $\text{K}_2\text{O}$  yielded  $10\,473.44 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ . Within a certain range, increased  $\text{P}_2\text{O}_5$  produced higher yield, but the yield declined beyond that range. Higher planting density resulted in lower yield due to the prominent branching characteristics of the cultivar. Therefore, it was important to control the planting density. According to the mathematic model, the optimized agronomic measures for top yield ( $>10\,000 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ) were:  $130.05 \sim 147.80 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  N,  $284.27 \sim 313.97 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$   $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $144.77 \sim 161.03 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$   $\text{K}_2\text{O}$  and  $(20.15 \sim 21.33) \times 10^4 \text{ plants} \cdot \text{hm}^{-2}$ .

**Key words:** vegetable soybean; Maodou 3; agronomic measures; mathematical model

菜用大豆(也称毛豆)是指豆荚鼓粒后期尚未转色前采青作为蔬菜食用的大豆。作为加工出口的菜用大豆,属大豆的专用型品种,专用型菜用大豆富含蛋白质、脂肪、矿物质和多种维生素,适口性好,是“营养、美容、安全”的自然绿色食品,近年来备受国内外消费者的青睐<sup>[2]</sup>。中国是世界菜用大豆最大的生产国和出口国,菜用大豆已成为福建省最主要的豆类蔬菜出口品种。随着人们生活水平的日益提高,我国南方菜用大豆消费量不断增大,种植面积逐年扩大<sup>[2]</sup>。福建省也是中国菜用大豆主

产区之一<sup>[3]</sup>。

菜用大豆品种特性与粒用大豆不同,在栽培措施上也不一样,有关大豆栽培农艺措施数学模型研究的报道不少<sup>[4-13]</sup>,但多数是基于粒用大豆品种的研究,而对菜用大豆的类似研究尚未见报道,目前对菜用大豆春季栽培的研究仍滞后于生产<sup>[14]</sup>,特别是在高产条件下,氮磷钾肥的适宜用量及配比指标较欠缺。毛豆 3 号系由龙海市种子管理站和福建省农业科学院作物研究所联合从台湾引进的菜用大豆新品种,该品种属春播类型,其优点是荚大粒大,白毛,荚型宽直,外观清秀,口感甜糯,适合

收稿日期: 2011-08-08 初稿; 2011-09-23 修改稿

作者简介: 唐永晖(1964-),男,高级农艺师,主要从事农作物良种繁育与推广

基金项目: 福建省科技计划项目 [2008NZ0002-1 (3)、2011R1028-3]; 农业部公益性行业(农业)科研专项(200903002)

鲜食与加工。2006 年引进福建省菜用大豆主产区种植获得成功, 2009 年 2 月通过福建省品种审定(闽审豆 2009001), 适宜福建省菜用大豆主产区种植推广。本文初步探讨了毛豆 3 号在闽东南生态条件下的优化栽培措施, 以指导专用型菜用大豆生产实践, 实现良种良法配套。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验设计

试验采用四因素二次回归正交旋转组合设计。试验以产量 ( $Y$ ) 为目标函数, 以纯 N ( $X_1$ )、 $P_2O_5$  ( $X_2$ )、 $K_2O$  ( $X_3$ )、种植密度 ( $X_4$ ) 等 4 个因素为试验因素, 按 4 因素 (1/2) 实施要求, 试验处理组合的小区数共 23 个, 随机排列, 小区面积  $13.34\text{ m}^2$ 。四周设保护行, 并开好环沟 (表 1)。

### 1.2 试验经过

试验安排在连江县官坂镇梅里村进行。试验地前作为冬闲地, 土质为黏壤土, 地力均匀。耕层土壤

有机质含量  $31.56\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 碱解氮  $162\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 速效磷  $24.2\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 速效钾  $52.4\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 全氮  $1.80\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 全磷  $0.62\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 全钾  $28.14\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ , pH 值 6.48。供试品种为毛豆 3 号。采取“窄畦双行穴播”种植方式, 即畦宽 (含沟)  $0.90\text{ m}$ , 畦长  $14.82\text{ m}$ , 双行种植, 四周设有保护行。采取人工穴播, 每穴播 3 粒, 留苗 2 株。2011 年 3 月 27 日播种, 3 月 29 日用喷施乙草胺除草, 4 月 8 日出苗, 5 月 20 日开花, 6 月 27 日采青荚收获。采青收获前每小区随机取样 10 株考种, 考查相关农艺性状和经济性状, 收获时每小区分别以鲜荚产量计产 (含 10 株取样产量)。田间管理与大田生产相同。试验结果应用 DPS 数据处理系统 (Data Processing System) 进行统计分析<sup>[15]</sup>。氮肥用尿素 (N 46.4%), 纯 N 量按基肥、追肥比例为 3:7 施用; 磷肥用钙镁磷肥 (含  $P_2O_5$  12%), 钾肥用硫酸钾 (含  $K_2O$  50%), 磷钾肥均作为基肥一次性全部施用。

表 1 试验因子水平及编码  
Table 1 Levels and codes of experimental factors

因子	编码水平					变动间距
	-1.682	-1	0	1	1.682	
$X_1(\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2})$	0	45.0	112.5	180.0	225.0	67.5
$X_2(\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2})$	0	90.0	225.0	360.0	450.0	135.0
$X_3(\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2})$	0	45.0	112.5	180.0	225.0	67.5
$X_4(\text{万株}\cdot\text{hm}^{-2})$	15.0	18.0	22.5	27.0	30.0	4.5

## 2 结果与分析

### 2.1 产量结果及各因素间最优回归方程的建立

采用四因素 (1/2) 实施的二次回归正交旋转组合设计, 根据试验处理的产量结果 (表 2), 建立毛豆 3 号鲜荚产量 ( $Y$ ) 与纯 N ( $X_1$ )、 $P_2O_5$  ( $X_2$ )、 $K_2O$  ( $X_3$ )、种植密度 ( $X_4$ ) 关系的数学模型:

$$Y = 10269.961 + 245.849X_1 + 330.543X_2 + 362.059X_3 - 233.689X_4 - 61.482X_1^2 - 211.355X_2^2 - 158.582X_3^2 + 44.061X_4^2 + 125.379X_1X_2 + 73.884X_1X_3 - 6.718X_1X_4 - 6.718X_2X_3 + 73.884X_2X_4 + 125.379X_3X_4$$

### 2.2 回归模型的统计检验

对上述方程进行方差分析与显著性检验 (表 3)。从表 3 看出, 失拟检验结果  $F_1 = 3.091 < F_{0.05} = 5.14$ , 不显著, 说明所建模型与实际相符, 无失拟因子存在。回归方程检验结果,  $F_2 = 3.632 >$

$F_{0.01} = 3.23$ , 达显著水平, 说明此方程有效, 进一步对回归系数进行  $F$  检验, 结果 4 因素的 1 次项系数均达显著或极显著水平。由于该方程与实际拟合好, 所以对系数不进行剔除, 而用其进行优化分析。即可用其预测产量和优化筛选最佳栽培方案。

### 2.3 各因素与产量的效应分析

2.3.1 单因子效应分析 由于二次回归正交旋转组合设计具有正交性, 各变异来源之间相互独立, 并且设计时经过无量纲线性编码代换, 各偏回归系数已标准化, 所以各因子对目标性状的影响可直接根据其偏回归系数进行分析, 各偏回归系数绝对值的大小反映了该变异来源, 对试验结果影响的大小。从回归模型中可以看出, 4 个因子  $X_1$  (纯 N)、 $X_2$  ( $P_2O_5$ )、 $X_3$  ( $K_2O$ )、 $X_4$  (种植密度) 的一次项偏回归系数分别为 295.893、330.543、362.059、233.689, 说明 4 个因子对产量的作用大小依次为: 氧化钾 > 五氧化二磷 > 纯氮 > 种植密

度，即以钾肥的影响效果最明显，其次是磷肥，再者为氮肥，种植密度影响最小。

采用“降维法”将该数学模型中的其他自变量的取值为零水平，得出各单因子与产量的关系式：

纯氮用量： $Y_1 = 10269.961 + 245.849X_1 - 61.482X_1^2$ ；

五氧化二磷用量： $Y_2 = 10269.961 + 330.543X_2 - 211.355X_2^2$ ；

氧化钾用量： $Y_3 = 10269.961 + 362.059X_3 - 158.582X_3^2$ ；

种植密度： $Y_4 = 10269.961 - 233.689X_4 + 44.061X_4^2$ 。

表 2 试验结构矩阵及产量结果  
Table 2 Experimental matrix and soybean yield

编号	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	纯氮量 ( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	$\text{P}_2\text{O}_5$ ( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	$\text{K}_2\text{O}$ ( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	种植密度 (万株 $\cdot \text{hm}^{-2}$ )	产量 ( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )
1	1	1	1	1	180.0	360.0	180.0	27.0	10991.6
2	1	1	-1	-1	180.0	360.0	45.0	18.0	10334.9
3	1	-1	1	-1	180.0	90.0	180.0	18.0	10221.4
4	1	-1	-1	1	180.0	90.0	45.0	27.0	8537.7
5	-1	1	1	-1	45.0	360.0	180.0	18.0	10454.3
6	-1	1	-1	1	45.0	360.0	45.0	27.0	9415.4
7	-1	-1	1	1	45.0	90.0	180.0	27.0	9713.9
8	-1	-1	-1	-1	45.0	90.0	45.0	18.0	9594.5
9	-1.682	0	0	0	0	225.0	112.5	22.5	9331.8
10	1.682	0	0	0	225.0	225.0	112.5	22.5	10788.6
11	0	-1.682	0	0	112.5	0	112.5	22.5	9224.3
12	0	1.682	0	0	112.5	450.0	112.5	22.5	10048.3
13	0	0	-1.682	0	112.5	225.0	0	22.5	9355.7
14	0	0	1.682	0	112.5	225.0	225.0	22.5	10215.4
15	0	0	0	-1.682	112.5	225.0	112.5	15.0	10728.9
16	0	0	0	1.682	112.5	225.0	112.5	30.0	9988.6
17	0	0	0	0	112.5	225.0	112.5	22.5	9982.6
18	0	0	0	0	112.5	225.0	112.5	22.5	10561.7
19	0	0	0	0	112.5	225.0	112.5	22.5	10442.3
20	0	0	0	0	112.5	225.0	112.5	22.5	9815.4
21	0	0	0	0	112.5	225.0	112.5	22.5	10502.0
22	0	0	0	0	112.5	225.0	112.5	22.5	10502.0
23	0	0	0	0	112.5	225.0	112.5	22.5	10167.7

由于试验的正交性，消除了各偏回归系数间的相关性，因此，通过降维方法得到 4 个因子与产量的二次函数关系，据此作出 4 个因子与产量的关系图（图 1）。从图 1 可知，在  $-1.682 \leq X_1 \leq 1.682$  水平范围内，施纯氮的增产效果是非常明显的，当  $X_1 = 1.682$  时（即纯氮量为  $225.0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ），产量最高，达  $10\,509.54 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ；其次是氧化钾，增产较明显，当  $X_3 = 1$  时（即氧化钾为  $225.0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ），产量最高，达  $10\,473.44 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。从图中还可看出，在一定范围内，五氧化二磷用量对产量有增产的影响，但超过某一范围，增产呈下降的趋势。种植密度越大，产量反而下降，因该品种分枝性强，控制密度尤为重要。

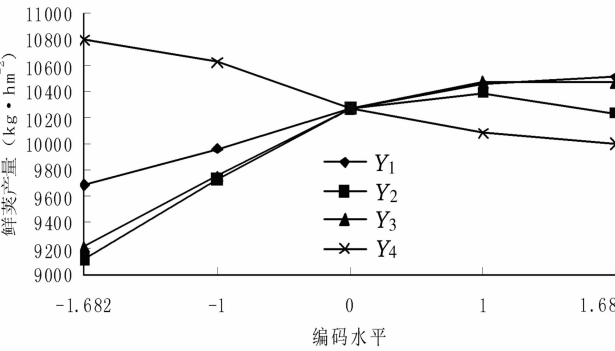


图 1 单项栽培因子的效应比较  
Fig. 1 Effects of 4 factors

2.3.2 最佳农艺组合措施分析 在  $-1.682 \leq X \leq 1.682$  水平范围内,采用频数法在微机上模拟的 625 ( $5^4$ ) 套组合中,产量在  $10\,000\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  以上有 305 个方案,其频数取值范围及决策变量 (表 4)。表 4 表明,毛豆 3 号鲜荚产量达  $10\,000$

$\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  以上,需纯 N  $130.05\sim147.80\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$   $284.27\sim313.97\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$   $144.77\sim161.03\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ , 种植密度  $20.15\sim21.33$  万株  $\cdot\text{hm}^{-2}$ 。

表 4 毛豆 3 号产量在  $10\,000\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  以上的综合农艺措施  
Table 4 Optimized agronomic measures for Maodou 3 to achieve a yield greater than  $10\,000\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$

项 目	X <sub>1</sub>		X <sub>2</sub>		X <sub>3</sub>		X <sub>4</sub>	
	次 数	频 率	次 数	频 率	次 数	频 率	次 数	频 率
-1.682	35	0.115	9	0.030	20	0.066	87	0.285
-1	45	0.148	43	0.141	38	0.125	77	0.252
0	61	0.200	82	0.269	61	0.200	61	0.200
1	77	0.252	91	0.298	86	0.282	45	0.148
1.682	87	0.285	80	0.262	100	0.328	35	0.115
Σ	305	1	305	1	305	1	305	1
编码平均( $\bar{X}$ )	0.392		0.549		0.599		-0.392	
标准误( $S_x$ )	0.067		0.056		0.062		0.067	
95%置信域	0.260~0.523		0.439~0.659		0.478~0.719		-0.523~-0.260	
农艺措施	$130.05\sim147.80\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$		$284.27\sim313.97\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$		$144.77\sim161.03\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$		$20.15\sim21.33$ 万株 $\cdot\text{hm}^{-2}$	

3 讨论与结论

3.1 本研究应用二次回归正交旋转组合设计,初步建立了专用型菜用大豆新品种毛豆 3 号鲜荚产量与氮磷钾肥施用量及种植密度 4 项农艺措施的回归模型。该模型反映了该品种在福建省东南沿海生态条件和中等肥力状况下,产量与氮肥施用量、磷肥施用量、钾肥施用量、种植密度的变化关系,经模拟寻优趋势与生产实际相拟合,可为该品种进一步推广提供参考。

3.2 对各栽培因子增产效应分析结果,  $\text{K}_2\text{O} > \text{P}_2\text{O}_5 > \text{纯 N} > \text{种植密度}$ ,即以钾肥的影响效果最明显,其次是磷肥,再者为氮肥,种植密度影响最小。据研究,钾素能促进大豆蛋白质和糖类物质的合成,加速新陈代谢,进而使作物茎秆坚硬,增强抗倒伏、抗病、抗寒能力,减少花荚脱落,提高大豆产量<sup>[16]</sup>。但在实际生产中,不能片面强调增施钾肥和磷肥,必须协调各因素关系。根据本研究最优栽培方案,以毛豆 3 号鲜荚产量在  $10\,000\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  以上为目标产量,其决策变量的农艺措施是,需纯 N  $130.05\sim147.80\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$   $284.27\sim313.97\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$   $144.77\sim161.03\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ , 种植密度  $20.15\sim21.33$  万株  $\cdot\text{hm}^{-2}$ 。

由此可见,各因素都有适当的变化范围,在肥水较高或生产水平较好的条件下,氮肥、磷肥、钾肥和种植密度应当取下限值,反之取上限值。总之,要结合生产实际和土壤条件,以及所用化肥的实际有效成分含量进行取值。

在 2008 年福建省菜用大豆品种生产试验示范中,毛豆 3 号在连江生产试验点平均鲜荚产量达  $10\,200\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,比对照毛豆 2808 增产 7.6%,表明上述栽培措施数学模型产量水平较高,并与实际生产基本相符,可作为该品种高产栽培参考。但在大面积生产应用上,要因地制宜,根据毛豆 3 号品种特性及当地生产条件,采取合理的综合农艺措施,方能发挥该品种的增产潜力。

参考文献:

[1] 徐树传,黄建成,刘德金.南方大豆高产理论与实践[M].福州:福建科学技术出版社,1999:120-126.  
[2] 张秋英,李彦生,王国栋,等.菜用大豆品质及其影响因素研究进展[J].大豆科学,2010,29(6):1065-1070.  
[3] 韩天富,盖钧镒.世界菜用大豆生产、贸易和研究的进展[J].大豆科学,2002,21(4):278-284.  
[4] 李瑞兰,吴艳平,孙文军,等.二次多项式数学模型在高蛋白大豆施肥中的应用[J].黑龙江农业科学,2005,(3):24-26.

- [5] 张建华, 沈仍愚. 谈综合农艺措施数学模型在作物栽培研究中的若干问题 [J]. 上海农业科技, 1992, (6): 5—6.
- [6] 刘玉平, 李瑞平, 李志刚. 栽培模式与密度对大豆冠层结构及产量的影响 [J]. 大豆科学, 2010, 29 (5): 796—799, 803.
- [7] 林国强, 张轶, 滕振勇, 等. 高蛋白大豆品种福豆 234 的选育及高产农艺措施数学模型 [J]. 福建农业学报, 2005, 20 (2): 69—73.
- [8] 陈喜凤, 谷岩, 王楠, 等. 大豆长农 18 高油栽培综合农艺措施数学模型分析 [J]. 吉林农业科学, 2010, 35 (3): 1—5.
- [9] 段成鼎, 王纪娟, 杨淑娟, 等. 高丰 1 号大豆高产栽培农艺措施研究 [J]. 现代农业科技, 2009, (4): 155—155.
- [10] 邵长泉, 孙汉水, 邵芳. 夏播黑大豆综合农艺措施研究及高产模型的建立 [J]. 河南农业科学, 2007 (1): 43—45.
- [11] 张慎举, 侯乐新. 黄淮平原夏大豆高产栽培综合农艺措施研究 [J]. 安徽农业科学, 2006, 34 (16): 3951—3952, 3981.
- [12] 刘克礼, 高聚林, 刘砚梅, 等. 旱作大豆综合农艺栽培措施与产量关系模型及产量构成分析 [J]. 大豆科学, 2004, 23 (1): 50—54.
- [13] 王洪芳, 赵兴宝. 大豆高产高效农艺措施研究 [J]. 安徽农业科学, 2003, 31 (6): 1048—1049, 1051.
- [14] 林国强, 温庆放. 出口型菜用大豆花后需水与鼓粒特点 [J]. 中国油料作物学报, 2004, 26 (4): 45—48.
- [15] 唐启义, 冯明光. 实用统计分析及其 DPS 数据处理系统 [M]. 北京: 科学出版社 2002: 159—163.
- [16] 张喜林, 周宝库, 高中超, 等. 不同比例氮、磷、钾配合施用对白浆土区连作大豆生育性状及产量的影响 [J]. 大豆科学, 2010, 29 (4): 659—662.

(责任编辑: 柯文辉)