

高蛋白大豆福豆 234 的选育及高产农艺措施数学模型

林国强¹, 张 轼², 滕振勇², 陈双龙², 陈志雄¹

(1. 福建省农业科学院耕作轮作研究所, 福建 福州 350013; 2. 福建省种子总站, 福建 福州 350003)

摘 要: 福豆 234 系以莆豆 8008 为母本、黄沙豆为父本进行有性杂交, 经系谱法选育而成的春大豆新品种。该品种蛋白质含量高、丰产稳产、适应性广。采用二次通用旋转组合设计研究了不同尿素、氯化钾施用量及种植密度对产量的影响, 结果表明, 在红黄壤旱地, 该品种最佳农艺措施是施尿素 77.25~93.30 kg·hm⁻²、氯化钾 108.15~129.45 kg·hm⁻², 种植密度 28.35~32.55 万株·hm⁻²。

关键词: 大豆; 选育; 福豆 234; 农艺措施; 数学模型

中图分类号: S 565.103.2

文献标识码: A

Breeding and mathematical model of agronomic measures for high yield and protein content soybean variety Fudou 234

LIN Guo-qiang¹, ZHANG Shi², TENG Zhen-yong², CHEN Shuang-long², CHEN Zhi-xiong¹

(1. Institute of Crop Cultivation and Rotation, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou, Fujian 350013, China; 2. Fujian Provincial Seed Station, Fuzhou, Fujian 350003, China)

Abstract: Fudou 234 is a new spring soybean variety bred from the crossing between Pudou 8008 and Huangshadou. The variety possessed the characters of high protein content, high and stable yield, extensive adaptability. The relation of seed yield with different agronomic practices (density, N, K) for Fudou 234 were studied by using the quadratic universal rotation combination design. The results showed that the optimal measures to get the yield more than 2250 kg·hm⁻² were as follow: the amount of urea applied was 77.25—93.30 kg·hm⁻², potassium chloride was 108.15~129.45 kg·hm⁻², the plant density was 283500~325500 plants·hm⁻² in red-yellow upland soil.

Key words: Soybean; Breeding; Fudou 234; Agronomic measures; Mathematical model

近年来, 随着健康意识的日益增强, 人们对日常生活中蛋白质的摄取种类十分重视, 已逐渐从动物蛋白源转向植物蛋白源, 以减少过量食用动物蛋白对人体健康的不利影响。植物蛋白源中尤以大豆为主。一些国际组织和食品营养专家认为, 利用大豆蛋白是解决优质蛋白和其他营养不足的主要途径^[1]。大豆是福建省主要粮油作物之一, 常年种植面积超过 10 万 hm², 年大豆产量 20 万 t 左右。随着人口增加和人民生活水平的提高, 福建大豆需求量不断增加, 本省生产的大豆已难以满足市场需求, 每年需进口 70~80 万 t。目前, 转基因大豆对福建大豆消费市场冲击较大, 但由于其安全性问题, 本省消费者倾向于本地生产的大豆产品。福建省大豆生产

上应用的品种除了莆豆 8008 的种植面积较大外, 大都还是种植农家种, 如古田豆等, 这些品种种植历史长久、品质差、产量低, 亟需更新换代。大豆栽培管理粗放, 福建乃至南方, 还有相当多数农民习惯于“一把锄头一把灰”, 不重视施肥, 加上本省大豆产区主要分布在丘陵旱地, 土壤为红黄壤, 酸、瘠、粘、旱, 因而使得大豆产量低而不稳^[2]。培育适合山地红黄壤种植的优质、高产、高效的大豆新品种, 实现良种良法配套, 发展优质大豆生产, 成为福建省大豆育种工作的当务之急。立足于市场和生产需求, 福建省农科院耕作所等单位采用杂交方法育成了高产高蛋白春大豆新品种福豆 234。该品种于 2005 年 2 月通过福建省农作物品种审定委员会审定。

收稿日期: 2004-11-02 初稿; 2005-02-16 修改稿

作者简介: 林国强 (1965-), 男, 副研究员, 主要从事大豆遗传育种与栽培研究。

基金项目: 福建省科技厅资助项目 (2003N042)。

1 品种选育

1.1 选育过程

福豆234系1997年春以福建省主栽春大豆中熟品种——莆豆8008为母本、美国小粒型春大豆早熟品种——黄沙豆为父本进行有性杂交经系谱法选育而成,原编号97A2-3-4。2000年参加株系简比试验,6 m²籽粒产量达1.35 kg,伸算籽粒产量2 250 kg·hm⁻²,比对照品种(莆豆8008)增产11.6%。田间鉴定结果,该株系荚色淡褐色,结荚较集中于茎秆中部,籽粒大,既有母本荚大粒大、商品性佳的特点,又有父本株型紧凑、结荚密多、抗倒、抗病的特点,综合农艺性状良好。2001年春季新品系比较试验,福豆234平均单产2 058 kg·hm⁻²,居参试品系首位,比对照品种(莆豆8008)增产9.9%,增产达极显著水平。

1.2 产量表现

据2002年福建省春大豆品种区域试验结果,福豆234平均单产2 167.5 kg·hm⁻²,居7个参试品种第2位,比对照品种(莆豆8008,下同)增产14.7%,达极显著水平。2003年春季续试,平均单产2 287.5 kg·hm⁻²,居7个参试品种首位,比对照增产9.3%,达极显著水平。对2002年、2003年两年区域试验6个参试品种6个试点产量分析结果,福豆234小区(13.34 m²)平均产量2.983 kg,居两年6个参试品种第2位,比对照增产11.67%,增产达极显著水平,稳定性变异度在6个参试品种中最小,表明其稳产性最好(表1)。2004年春季参加全省大豆新品种生产试验,平均单产2 254.5 kg·hm⁻²,比对照增产9.05%。

表1 福建省大豆品种区域试验丰产性、稳产性分析

Table 1 Analysis on soybean yielding ability and stability in regional variety tests of Fujian Province

品 种	丰产性参数		稳定性参数		差异显著性		位次
	小区产量	效应	方差	变异度	0.05	0.01	
泉豆7号	2.983	0.153	0.079	9.44	a	A	1
福豆234	2.966	0.136	0.016	4.257	a	A	2
泉豆9319	2.899	0.069	0.030	5.987	a	AB	3
福豆310	2.765	-0.065	0.018	4.831	b	BC	4
泉豆978	2.711	-0.119	0.037	7.096	b	C	5
莆豆8008(CK)	2.656	-0.174	0.014	4.519	b	C	6

注:上表为2002年、2003年6个试点3重复小区产量统计数据,小区面积为13.34 m²,产量单位为kg。

1.3 特征特性

福豆234株型收敛,直立,有限结荚习性,椭圆形叶,子叶黄色,幼茎紫色,花瓣紫色,荚形为弯镰形,茸毛色和荚熟色均为黄褐色,不裂荚,结荚较集中,籽粒椭圆,种皮黄色且具微光泽,脐淡褐色。两年省区试结果,平均株高56.1 cm,茎粗0.48 cm,主茎节数10.8个,有效分枝2.6个,底荚高10.7 cm,单株粒数46.8粒。单株荚数22.4个,以二、三粒荚居多,占81.7%;四粒荚占2.4%。平均单株粒重11.2 g,百粒重23.2 g。籽粒蛋白质含量46.33%、脂肪含量17.68%,属高蛋白型大豆品种,商品性佳。平均生育日数90.7 d,比莆豆8008短1 d。田间观察结果,在各试点均表现抗病(花叶病毒病、锈病、霜霉病)、抗旱、抗倒伏,适于福建省大豆产区种植。

2 高产综合农艺措施数学模型

为寻求福豆234新品种最佳高产农艺措施组合方案,根据目前福建省大豆生产上存在的种植密度过大、氮肥量难以控制、忽视施用钾肥等突出问题,2004年春季在福建惠安县走马埭进行了这些主要农艺措施与大豆籽粒产量关系的试验研究。

表2 试验因子水平及编码

Table 2 Levels and codes of experimental factors

因 素	编码水平					间 距
	-1.682	-1	0	+1	+1.682	
x_1 (万株·hm ⁻²)	21.0	25.5	31.5	37.5	42.0	6.0
x_2 (kg·hm ⁻²)	0	24.0	60.0	96.0	120.0	36.0
x_3 (kg·hm ⁻²)	0	30.0	75.0	120.0	150.0	45.0

注: x_1 为种植密度, x_2 为尿素施用量, x_3 为氯化钾施用量。

2.1 试验设计与实施

采取二次通用旋转组合设计^[3],即以种植密度(x_1)、尿素(x_2 ,含N 46.3%)施用量、氯化钾(x_3 ,含K₂O 60%)施用量3因素为决策变量,以籽粒产量(y)为目标函数,因子设计水平见表2。试验共设20个小区,即 $n=20$, $m_c=8$, $2P=6$, $m_0=6$ 。随机排列,小区面积13.34 m²。试验地为红黄壤旱地,前作为冬闲地,砂壤土,0~20 cm土壤耕层有机质含量22.6 g·kg⁻¹、全氮1.37 g·kg⁻¹、全磷2.87 g·kg⁻¹、全钾1.06 g·kg⁻¹、碱解氮212 mg·kg⁻¹、速效磷315 mg·kg⁻¹、速效钾75.8 mg·kg⁻¹,pH值6.15。2004年3月12日播种,各

处理统一施钙镁磷 $375\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 当种肥,窄畦双行穴播,3月22日出苗,3月27日在畦中间条施尿素和氯化钾进行追肥,4月6日间苗结合中耕,并按小区实际要求株数定苗,每小区多留苗10株,4月14日第2次中耕,5月8日开花,7月5日成熟,生育日数105 d。成熟时取样10株考种,其他管理同大田生产。

2.2 数学模型的建立及检验

试验结构矩阵及产量结果列于表3,应用DPS (Data Processing System) 数据处理软件进行微机统计^[4]。得出福豆234产量(y)与种植密度(x_1)、尿素(x_2)、氯化钾(x_3)三因素间的回归模型为:

$$\hat{y} = 2378.972 - 44.301x_1 + 60.584x_2 + 93.641x_3 - 40.364x_1^2 - 96.632x_2^2 + 1.815x_3^2 - 34.125x_1x_2 + 6.075x_1x_3 + 78.650x_2x_3。$$

对此回归方程进行方差分析与显著性检验结果见表4。失拟检验结果 $F_1=1.189 < F_{0.05}=5.05$,不显著,说明所建模型与实际拟合较好,无失拟因子存在。回归方程检验结果, $F_2=6.481 > F_{0.01}=4.95$,达极显著水平,说明此方程有效。进一步对回归系数进行 F 检验,除 x_3^2 和 x_1x_3 系数外均达显著或极显著水平。由于方程与实际拟合较好,故对系数不剔除,直接用该方程进行优化分析。

表3 试验结构矩阵及产量结果

Table 3 Experimental structure matrix and yield

处理号	x_1	x_2	x_3	y ($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)	处理号	x_1	x_2	x_3	y ($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)
1	1	1	1	2433.8	11	0	-1.682	0	1940.4
2	1	1	-1	1965.6	12	0	1.682	0	2288.0
3	1	-1	1	2206.5	13	0	0	-1.682	2275.5
4	1	-1	-1	2208.0	14	0	0	1.682	2509.8
5	-1	1	1	2480.9	15	0	0	0	2318.1
6	-1	1	-1	2192.1	16	0	0	0	2307.3
7	-1	-1	1	2272.2	17	0	0	0	2338.8
8	-1	-1	-1	2142.9	18	0	0	0	2408.1
9	-1.682	0	0	2371.7	19	0	0	0	2376.2
10	1.682	0	0	2175.0	20	0	0	0	2522.4

表4 方差分析

Table 4 Analysis of variance

变异来源	平方和	自由度	均方	F 值	$F_{0.05}$	$F_{0.01}$
x_1	36313.137	1	36313.137	5.203*	4.96	10.04
x_2	54865.68	1	54865.680	7.861*	4.96	10.04
x_3	131073.30	1	131073.30	18.780**	4.96	10.04
x_1^2	65698.95	1	65698.95	9.413*	4.96	10.04
x_2^2	147289.70	1	147289.70	21.104**	4.96	10.04
x_3^2	51.972	1	51.972	0.00745	4.96	10.04
x_1x_2	90196.82	1	90196.82	12.924**	4.96	10.04
x_1x_3	323.156	1	323.156	0.0463	4.96	10.04
x_2x_3	54164.79	1	54164.79	7.76081*	4.96	10.04
回归	407081.80	9	45231.310	6.481**	3.02	4.95
剩余	69792.69	10	6979.269			
失拟	37910.34	5	7582.069	1.189	5.05	10.97
误差	31882.35	5	6376.470			
总和	476874.60	19				

2.3 数学模型的解析和寻优

2.3.1 因子的主效应分析 因回归设计中各因素处理均经无量纲线性编码代换, 偏回归系数已经标准化, 其绝对值大小可直接反映变量 (x) 对产量 (y) 作用的程度。从回归模型中的1次项偏回归系数 b 绝对值大小判断, b_3 (93.641) $> b_2$ (60.584) $> b_1$ (44.301), 即: 钾肥 $>$ 氮肥 $>$ 密度。可见, 钾肥是决定福豆234品种产量的主要因素, 我省红黄壤旱地普遍缺钾, 生产上如不施或少施钾肥对福豆234产量影响很大。从图1可看出, 密度、尿素曲线变化趋势相似, 在 $-1.682 \leq x \leq 1.682$ 水平范围内, 当 $x_1 = -0.549$, 即密度为28.2万株 $\cdot \text{hm}^{-2}$ 时, 产量最高, 达2391.2 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$; 超过28.2万株 $\cdot \text{hm}^{-2}$, 产量则下降。 $x_2 = 0.313$, 即尿素施用量为71.3 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时, 产量最高, 达2388.5 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 超过71.3 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 产量也下降。当 $x_3 = 1.682$, 即氯化钾施用量为150.0 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时, 产量较高, 为2536.5 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。由此可见, 在当地生产条件下, 特别是低钾水平土壤上种植福豆234应强调增施钾肥、适量施用氮肥、控制合理的种植密度, 才能达到较高的产量。

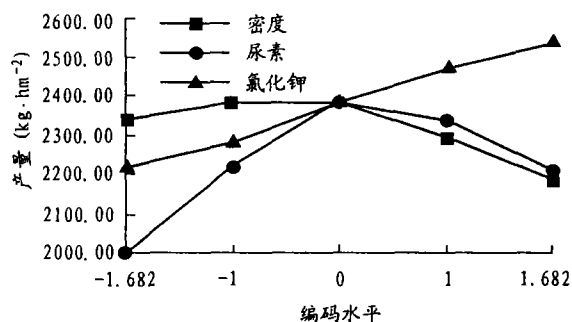


图1 单项栽培因子效应比较

Fig. 1 Effect comparison among 3 culture factors

2.3.2 双因子互作效应分析 表4还表明, 氮肥与密度还存在着互作效应, 其互作数学模型为:

$$\hat{y} = 2378.972 - 44.301x_1 + 60.584x_2 - 40.364x_1^2 - 96.632x_2^2 - 34.125x_1x_2$$

在 $-1.682 \leq x \leq 1.682$ 水平范围内, 低密度 (x_1)、低尿素 (x_2) 时产量低, 对产量影响不大, 随着两因素水平的增加, 产量也逐渐增加, 当密度 $x_1 = -0.5$, 尿素 $x_2 = 0.5$ 时, 单产达2397.2 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 再单方面增加密度或尿素, 产量均下降。可见, 只有在一定的密度条件下, 增加尿素施用量,

才有明显的增产作用。同样, 在一定的氮肥条件下, 增加种植密度才有增产效果。这进一步说明, 在当地生产条件下, 特别是低钾水平土壤上, 种植福豆234应强调增施钾肥、限施氮肥、控制种植密度, 才能获得较高的产量。

2.3.3 福豆234的产量潜力 在 $-1.682 \leq x \leq 1.682$ 水平范围内, 在微机上应用所建的模型对本试验共125个方案进行理论寻优, 得出最高产量为2636.55 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 农艺措施决策变量为 $x_1 = -1$, $x_2 = 1$, $x_3 = 1.682$, 即密度25.5万株 $\cdot \text{hm}^{-2}$ 、尿素96.0 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、氯化钾150.0 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 福豆234可达最高产量2636.55 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。目前福豆234在旱地红黄壤生产上, 春季一般产量为2250~2700 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 如在肥力、灌溉条件较好的情况下, 该品种产量还可明显提高, 至今已出现过小区伸算产量高达3483.0 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的产量纪录 (福建龙海, 2004年)。因此, 福豆234品种产量潜力还很大, 通过改进栽培措施, 如增施钾肥、合理密植、适施氮肥等可有效地提高该品种产量。

表5 福豆234产量在2250 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 以上综合农艺措施

Table 5 Comprehensive agronomic measures for Fudou 234 to produce more than 2250 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ yield

项 目	x_1		x_2		x_3	
	次数	频率	次数	频率	次数	频率
-1.682	8	0.200	0	0	0	0
-1	10	0.250	1	0.025	2	0.050
0	9	0.225	16	0.400	8	0.200
1	8	0.200	14	0.350	14	0.350
1.682	5	0.125	9	0.225	16	0.400
Σ	40	1	40	1	40	1
编码平均(\bar{x})	-0.176		0.703		0.973	
标准误(S_x)	0.183		0.114		0.121	
95%置信域	-0.535~0.182		0.481~0.926		0.736~1.210	
农艺措施	28.35~32.55 万株 $\cdot \text{hm}^{-2}$		77.25~93.30 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$		108.15~129.45 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$	

2.3.4 最佳农艺组合措施分析 在 $-1.682 \leq x \leq 1.682$ 内, 采用频数法在微机上模拟得到的125 (5^3) 套组合中, 产量在2250 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 以上有40个组合方案。表5表明, 福豆234籽粒产量达2250 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 以上, 其决策变量的农艺措施是: 种植密度28.35~32.55万株 $\cdot \text{hm}^{-2}$, 尿素77.25~93.30

$\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，氯化钾 $108.15 \sim 129.45 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。此结果与福建省近年来开展的全省大豆区域试验及生产试验结果相似，而与传统栽培方法相比，主要是降低了种植密度，增加了钾肥施用量。传统栽培方法粗放，种植密度通常为 $45 \text{ 万株} \cdot \text{hm}^{-2}$ 以上，有的甚至多达 $75 \text{ 万株} \cdot \text{hm}^{-2}$ 以上，且往往不间苗，植株个体生长发育受到严重限制，造成田间郁闭，通风差，甚至倒伏。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^[2]。不施或少施钾肥，不进行中耕，植株茎秆细弱，营养缺乏，这些因素均会导致大豆产量在低水平徘徊。福豆234分枝性较强，在福建省红黄壤旱地种植，应合理密植，增施钾肥，生长中后期少施氮肥，防止徒长，以提高籽粒产量。总之，在大豆生产上要因地

制宜，根据福豆234品种特性，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] 国家食物与营养咨询委员会科技部. 大豆产业最新动态与大豆行动计划 [M]. 北京：中国科学技术出版社，2000. 3—19.
- [2] 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. 4—13.
- [3] 茆诗松，丁元，周纪芾，等. 回归分析及其试验统计 [M]. 上海：华东师范大学出版社，1983. 191—219.
- [4] 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.
- [5] 罗英，许宗得，王爱兰，等. 春大豆浙春2号综合农艺措施数学模型分析 [J]. 福建农业学报，1998，13（3）：9—13.
- [6] 陈质卿，郑殿甫，王克玉，等. 黑河九号大豆综合高产农艺措施数学模型分析 [J]. 大豆科学，1993，12（2）：175—182.

（责任编辑：杨小萍）