

肥密因子对旱地豇豆产量效应分析

王娜娜¹, 刘恩科^{2*}, 姜春霞^{2*}, 张伟²

(1. 山西省农产品质量安全检验检测中心, 山西太原 030051; 2. 山西省农业科学院旱地农业研究中心, 山西太原 030031)

摘要 [目的]探索山西旱地条件下豇豆栽培的高产措施。[方法]以中豇1号为研究对象,选取密度、氮肥、磷肥和钾肥为试验因素,按照二次通用旋转组合设计统计分析方法建立回归模型,分析种植密度和不同肥料配比对中豇1号产量的影响。[结果]各因子对豇豆产量的影响达到显著水平,且变化趋势均呈开口向下的抛物线,影响顺序由高到低依次为K肥、P肥、N肥、密度;要获得1 875 kg/hm²的产量,种植密度、氮肥、磷肥和钾肥的最优取值范围为:种植密度为120 465~128 295 株/hm²,施N 40.49~54.66 kg/hm²,施P₂O₅ 42.92~56.24 kg/hm²,施K₂O 57.91~65.93 kg/hm²。[结论]该研究为豇豆大面积种植提供理论依据。

关键词 豇豆;二次通用旋转组合设计;密度;施肥;产量

中图分类号 S643.4 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2018)34-0027-03

Effects of Fertilizer and Density on Yield of Cowpea

WANG Na-na¹, LIU En-ke², JIANG Chun-xia² et al (1. Agricultural Products Quality Safety Monitoring Center of Shanxi Province, Taiyuan, Shanxi 030051; 2. Dryland Agriculture Research Center, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Taiyuan, Shanxi 030031)

Abstract [Objective] To investigate the high-yield cowpea cultivation measures in the dryland in Shanxi Province. [Method] Cowpea variety Zhongjiang 1 was used as research material, and planting density, nitrogen, phosphate and potash were selected as 4 experimental factors, quadratic regression model was established in accordance with rotation design statistical analysis method, and the effects of different fertilizers and planting densities on cowpea yield were analyzed. [Result] Each factor had significant influence on cowpea yield, as demonstrated by a trend of opening downward parabola, and in an order of potash (K)>phosphate (P)>nitrogen (N)>density. To achieve a yield of 1 875 kg/hm², the best combination of nitrogen and phosphate fertilizer, potash fertilizer and planting density were as follows: nitrogen 40.49~54.66 kg/hm², phosphate 42.92~56.24 kg/hm², potash 57.91~65.93 kg/hm², and the planting density of 120 465~128 295 plants/hm². [Conclusion] The study provides theoretical basis for large area planting of cowpea.

Key words Cowpea; Quadratic general rotary unitized design; Density; Fertilizer; Yield

山西省地处干旱半干旱地区,山多地少,水资源匮乏,土壤贫瘠,旱地面积占到70%以上,是杂粮杂豆的主要产地,杂粮杂豆占该区作物总播种面积的30%以上,2013年山西省杂豆种植面积为1.2万hm²,平均产量为961 kg/hm²[1]。豇豆是主要杂豆种之一,可分为长豇豆和普通豇豆2种,长豇豆主要以嫩豆荚做蔬菜食用;普通豇豆因荚有革质层,纤维较多,不能食用嫩荚,主要收获籽粒,以豇豆籽粒制作各种食品[2]。山西是全国粒用豇豆主产省区之一,晋西北豇豆的播种面积和产量约占全省的4/5,年均种植面积2万多hm²。粒用豇豆作为晋西北,尤其是吕梁贫困片区特色农业资源产品,在强化培植山西省特色产业、农业供给侧结构性改革方面发挥着重要作用。同时,豇豆因其丰富的营养物质和独特的保健功效,成为人们青睐的杂粮食品[3],但现有生产数量和质量远远不能满足需求。目前,豇豆的栽培技术研究多集中在菜用长豇豆方面[4-7],而粒用豇豆的栽培技术研究仅有少数文献报道。有学者开展了粒用豇豆品种筛选试验,得出适宜当地气候条件下的豇豆品种[8-9]。王洪皓等[10]研究得出在辽宁地区果园间作条件下,粒用豇豆适宜的种植密度为16.5万株/hm²。在山西干旱气候条件下,豇豆的需肥规律和适宜种植密度方面的研究尚鲜见报道。二次通用旋转组合设计是在正交回归组合设计的基础上发展而来,能确保与试

验中心点距离相等的试验点上的预测值方差相等,克服了其他统计方法的不足[11],目前已广泛应用在玉米[12-13]、谷子[14]、小麦[15]等作物的栽培密度和施肥研究上,取得了显著的效果。鉴于此,笔者以密度、氮肥、磷肥、钾肥为影响因子,以产量为研究对象,采用4因素5水平二次通用旋转组合设计,明确中豇1号在山西旱地条件下栽培密度和肥料供应最佳组合,旨在探索该品种高产栽培条件,充分发挥其产量潜力,为豇豆大面积种植提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况 试验在旱农中心河村旱作节水基地进行,试验地块前茬为玉米,土壤为黄土质淡褐土性土,有机质10.5 g/kg,全氮1.12 g/kg,全磷0.72 g/kg,全钾21.6 g/kg,碱解氮53.7 mg/kg,速效氮125.0 mg/kg,速效磷6.87 mg/kg。

1.2 试验设计 试验包括密度、氮肥、磷肥、钾肥4个因素,每个因素5个水平(表1),采用通用旋转组合设计,共20个试验处理组合(4因素的1/2实施),小区面积为48 m²(6 m×8 m),供试豇豆品种为中豇1号。肥料均做底肥一次性施入。试验开展所采用的化肥为尿素(博大实业N≥46%)、粒状过磷酸钙(九华山牌P₂O₅≥12%,S≥10%,Ca≥10%)、硫酸钾(俄罗斯牌K₂O≥52%)。试验于2015年5月14—15日人工播种,分别于8月30日、9月14日、9月23日分批采收豆荚。

1.3 测定项目 豇豆按小区单独收获,在豆荚包皮干枯且呈现白色时,及时分批采收、脱粒,计量产量、荚数、荚粒数、百粒重。

1.4 数据处理 采用Excel 2003和DPS v7.05软件对试验数

基金项目 山西省科技攻关项目(20140311005-4)。

作者简介 王娜娜(1987—),女,山西河津人,助理农艺师,从事农业技术研究。*通讯作者,刘恩科,研究员,从事旱作节水技术及农业技术推广研究;姜春霞,助理研究员,从事旱作节水技术研究。刘恩科与姜春霞为共同通讯作者。

收稿日期 2018-06-20

据进行处理。 X_1 表示密度, X_2 表示N, X_3 表示 P_2O_5 , X_4 表示 K_2O 。通过回归分析建立4因素与豇豆产量之间的回归方程,因通用旋转设计的常数项与二次项系数、二次项系数之间都具有相关性,为方便对模型分析讨论,保留不显著的各项。将4个因素中的3个固定在零水平,对数学模型进行降维分析,得到以其中1个因素的偏回归模型,并根据该模型做出单因素变化趋势图;在固定其他2个因子为零水平时,求另外2因子之间的交互作用;对所建模型进行非线性求解得出最大值。

2 结果与分析

2.1 不同处理豇豆产量比较 豇豆荚皮成熟时,分批采收并

考种,记录豇豆小区荚数、荚粒数、百粒重,根据密度计算小区产量,再折合成公顷产量,结果见表2。

表1 试验水平与编码

Table 1 Test level and code

编码 Code	密度 Density//株/hm ²	N kg/hm ²	P ₂ O ₅ kg/hm ²	K ₂ O kg/hm ²
-1.682	75 000	0	0	0
-1	90 000	30	30	18
0	112 500	75	75	45
1	135 000	120	120	72
1.682	150 000	150	150	90
△j	22 500	45	45	27

表2 试验实施方案及产量

Table 2 Test implementation plan and yield

处理编号 Treatment code	X_1		X_2		X_3		X_4		产量 Yield kg/hm ²
	编码 Encoding	密度 Density 株/hm ²	编码 Encoding	N kg/hm ²	编码 Encoding	P ₂ O ₅ kg/hm ²	编码 Encoding	K ₂ O kg/hm ²	
1	1	135 000	1	120	1	120	1	72	1 684.6
2	1	135 000	1	120	-1	120	-1	18	1 435.3
3	1	135 000	-1	30	1	30	-1	18	1 908.7
4	1	135 000	-1	30	-1	30	1	72	2 438.2
5	-1	90 000	1	120	1	120	-1	18	2 059.4
6	-1	90 000	1	120	-1	120	1	72	1 560.1
7	-1	90 000	-1	30	1	30	1	72	2 118.4
8	-1	90 000	-1	30	-1	30	-1	18	2 231.3
9	-1.682	67 500	0	75	0	75	0	45	1 436.1
10	1.682	157 500	0	75	0	75	0	45	2 023.9
11	0	112 500	-1.682	0	0	0	0	45	1 324.1
12	0	112 500	1.682	150	0	150	0	45	2 035.4
13	0	112 500	0	75	-1.682	75	0	45	1 878.5
14	0	112 500	0	75	1.682	75	0	45	1 295.2
15	0	112 500	0	75	0	75	-1.682	0	1 413.8
16	0	112 500	0	75	0	75	1.682	90	1 884.7
17	0	112 500	0	75	0	75	0	45	2 267.5
18	0	112 500	0	75	0	75	0	45	2 314.4
19	0	112 500	0	75	0	75	0	45	2 223.2
20	0	112 500	0	75	0	75	0	45	2 330.3

2.2 豇豆产量对密度和施肥的响应 对田间试验的产量结果做回归模型,得到豇豆产量(Y)与密度(X_1)、施氮(X_2)、施磷(X_3)、施钾(X_4)4个因素的回归方程:

$$Y = 2 153.52 + 35.60X_1 - 55.72X_2 - 64.04X_3 + 70.18X_4 - 71.09X_1^2 - 88.85X_2^2 - 121.71X_3^2 - 99.63X_4^2 + 86.94X_1X_4 + 86.94X_2X_3$$

经检验,模型达到10%显著水平,表明该模型能较好的反映田间条件下豇豆产量与密度、施肥之间的关系。

2.3 回归方程的解析

2.3.1 试验因子的产量效应分析。主因子效应分析,由于试验设计因子均经过无量纲线性编码处理,且各项回归系数间都不相关,所得偏回归系数已标准化。因此,可以通过回归系数的绝对值大小来判断X对产量Y的影响程度。分析模型可知,由各一次项回归系数绝对值的大小可推断其对产量的影响顺序为K肥>P肥>N肥>密度;二次项系数均为负值,说明产量随各因素提高均呈开口向下的抛物线趋势变化,即在最佳水平以下时,产量随该因素的增加而提高,当超过临界水平时,产量开始下降;交互项系数均为正值,表明密度和施K之间、施N和施P之间的配合对产量增加有相互协同作用。

2.3.2 单因子农艺效应的解析。在豇豆产量的回归模型中,

通过降维分析得出各因素对产量的影响。将其他3个因素规定在“0水平”编码时,得到各因素的回归效应模型如下:

$$\text{密度: } Y = 2 153.52 + 35.60X_1 - 71.09X_1^2;$$

$$\text{施氮: } Y = 2 153.52 - 55.72X_2 - 88.85X_2^2;$$

$$\text{施磷: } Y = 2 153.52 - 64.04X_3 - 121.71X_3^2;$$

$$\text{施钾: } Y = 2 153.52 + 70.18X_4 - 99.63X_4^2;$$

由图1可知,在设计范围内,密度、施氮、施磷、施钾4个因素对产量产生一定影响,且产量随各因素的提高呈开口朝下的抛物线状,存在极大值,各抛物线的顶点就是各单因子的最高产量,对应的是各因子的最优投入量。在试验设计范围内,当密度为123 750株/hm²时,产量达到最大,为2 153.5 kg/hm²;施N为52.5 kg/hm²时,产量为2 159.2 kg/hm²;施P₂O₅为52.5 kg/hm²时产量为2 155.1 kg/hm²;施K₂O为58.5 kg/hm²时,产量为2 163.7 kg/hm²;之后随着各因素的增加,产量反而降低。

2.3.3 双因子农艺效应的解析。根据回归方程的建立,剔除不显著的交互作用因素,仅有 X_1 与 X_4 、 X_2 与 X_3 之间存在显著的交互作用,分别对其交互作用进行分析。

2.2.3.1 密度(X_1)与施K₂O(X_4)的农艺效应分析。对产量回归方程令 X_2 (施N)=0、 X_3 (施P₂O₅)=0,则得: $Y_{1,4} = 2 153.52 +$

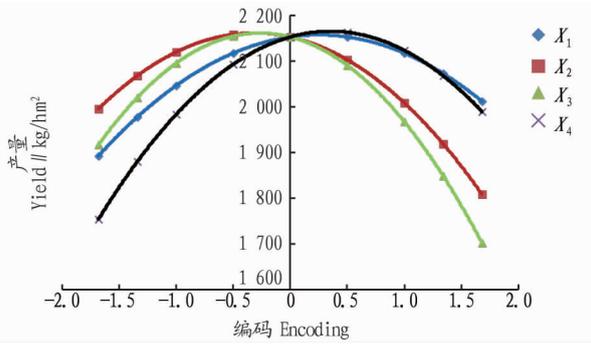


图1 各因素对豇豆产量的影响

Fig.1 Effects of each factor on the yield of cowpea

$$35.60X_1 + 70.18X_4 - 71.09X_1^2 - 99.63X_4^2 + 86.94X_1X_4$$

X_1 和 X_4 各有 5 个水平, 两两搭配有 25 个组合。将每个组合的编码值代入相应的双因子农艺效应函数, 可得到对应的产量值 (Y), 见表 3。

由表 3 可知, 当豇豆种植密度一定时, 随着钾肥施用量增加, 产量呈先升高后降低的变化规律。对应于每一个 X_1 因子的固定水平, 与 X_4 形成的双因子效应产量, 最高值都在 X_4 的 0、1 水平, 且表现为 X_1 在低水平时最高值 X_4 在 0 水平, X_1 在 0 水平以上时最高值 X_4 在 1 水平。这说明种植密度一定时, 应适当增加钾肥的施用, 且钾肥的适宜施用范围在 0~1 水平, 如果高于 1 水平, 也会使豇豆产量下降。而 X_4 在 -1.682 水平时最高值 X_1 在 -1 水平, X_4 在 -1、0 水平时最高值 X_1 在 0 水平, X_4 在 1、1.682 水平时最高值 X_1 在 1 水平, 说明当钾肥施用量一定时, 豇豆产量随着密度增加呈先升高后降低的趋势, 施 K_2O 在 -1.682~0 水平时, 豇豆种植密度宜为 0 水平, 低于 0 水平则不能发挥钾肥的增产效果, 高于 0 水平则会因缺钾而产量下降; 当施 K_2O 在 0~1.682 水平时, 豇豆种植密度宜为 1 水平。最高点的峰值点为 $X_1 = 0, X_4 = 0$ 。

2.2.3.2 施 N (X_2) 与施 P_2O_5 (X_3) 的农艺效应分析。 对产量回归方程令 X_1 (密度) = 0、 X_4 (施 K_2O) = 0, 则可得 $Y_{2,3} = 2\ 153.52 - 55.72X_2 - 64.04X_3 - 88.85X_2^2 - 121.71X_3^2 + 86.94X_2X_3$ 。

X_2 和 X_3 各有 5 个水平, 将每个组合的编码值代入相应的双因子农艺效应函数, 可得到对应的产量值 (Y), 见表 4。

表 3 X_1 和 X_4 双因子效应产量

Table 3 Effect yield of two-factors X_1 and X_4

X_1	X_4				
	-1.682	-1	0	1	1.682
-1.682	1 738.7	1 869.0	1 892.6	1 716.9	1 482.9
-1	1 793.2	1 964.0	2 046.8	1 930.4	1 736.8
0	1 753.7	1 983.7	2 153.5	2 124.1	1 989.7
1	1 572.0	1 861.3	2 118.0	2 175.5	2 100.5
1.682	1 366.6	1 696.3	2 012.3	2 129.1	2 094.5

由表 4 可知, 对应于每个 X_2 因子的固定水平, 与 X_3 形成的双因子效应产量, 最高值都在 X_3 的 -1、0 水平, 且表现为 X_2 在低水平时最高值 X_3 在 -1 水平, X_2 在 0 水平及以上时最高值 X_3 在 0 水平。这说明磷肥的适宜施用范围在 -1 与 0 水平之间, 当施氮量的增加时, 应适当增加磷肥的施用, 但不宜太高。而 X_3 在 -1.682 与 -1 水平时最高值 X_2 在 -1 水平, X_3 在 0、1 水平时最高值 X_2 在 0 水平, X_3 在 1、1.682 水平时最高值 X_1 在 1 水平, 说明豇豆的适宜施氮量应在 -1~1 水平, 低于或高于该区间产量都会降低。最高点的峰值点为 $X_2 = 0, X_3 = 0$ 。

表 4 X_2 和 X_3 双因子效应产量

Table 4 Effect yield of two-factors X_2 and X_3

X_2	X_3				
	-1.682	-1	0	1	1.682
-1.682	2 005.3	2 084.5	1 995.9	1 663.9	1 298.0
-1	2 030.1	2 149.7	2 120.4	1 847.7	1 522.2
0	1 917.0	2 095.8	2 153.5	1 967.8	1 701.5
1	1 626.2	1 864.3	2 008.9	1 910.1	1 703.2
1.682	1 326.0	1 604.6	1 808.5	1 769.0	1 602.5

2.4 高产农艺组合方案的确定 通过研究得出的最高产量与实际的最佳产量有差异, 为了明确种植密度、氮肥、磷肥和钾肥在生产实践中的可靠性, 通过频数法进一步剖析, 在 -1.682~1.682 约束区间, 所得方案中有 115 套方案豇豆产量 $\geq 1\ 875\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 。其优化组合的置信区间见表 5。

通过肥密组合最优方案可以看出, 如果要获得 $1\ 875\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 的产量, 种植密度、氮肥、磷肥和钾肥的最优取值范围为: 种植密度为 120 465~128 295 株/ hm^2 , 施 N 40.49~54.66 kg/hm^2 , 施 P_2O_5 42.92~56.24 kg/hm^2 , 施 K_2O 57.91~65.93 kg/hm^2 。

表 5 优化提取方案中 X_i 取值频率分布

Table 5 Frequency distribution of X_i in optimized extraction scheme

因素水平 Factor level	X_1		X_2		X_3		X_4	
	次数 Times	频率 Frequency	次数 Times	频率 Frequency	次数 Times	频率 Frequency	次数 Times	频率 Frequency
-1.682	2	0.017 4	28	0.243 5	22	0.191	0	0
-1	17	0.147 8	36	0.313	39	0.339	10	0.087
0	34	0.295 7	38	0.330 4	43	0.374	40	0.348
1	34	0.295 7	13	0.113	11	0.096	40	0.348
1.682	28	0.243 5	0	0	0	0	25	0.217
\bar{x}	0.528	-0.609	-0.57	0.626				
S_x	0.089	0.08	0.076	0.076				
95%的置信区间 95% confidence interval	(0.354, 0.702)		(-0.767~ -0.452)		(-0.713~ -0.417)		(0.478~0.775)	
措施范围 Measure range	(120465, 128295)		(40.49, 54.66)		(42.92, 56.24)		(57.91, 65.93)	

作用更关键。



注:A.再生芽;B.再生植株;C.生根的再生植株;D.不同浓度 NAA 生根效果;E.驯化植株

Note: A.Regenerated bud;B.Regenerated plant;C.Rooting of regenerated bud;D.Rooting effect of different concentrations of NAA;E.Domesticated plantlet

图2 不同激素浓度对组培苗生根的影响

Fig.2 Effects of different hormone concentrations on rooting

参考文献

- [1] 李曙轩,李树德,蒋先明,等.中国农业百科全书·蔬菜卷[M].北京:农业出版社,1990:33-34.
- [2] 叶志彪,李汉霞.红菜薹原生质体培养植株再生[J].园艺学报,1993,20(4):405-406.
- [3] 王涛涛,李汉霞,张继红,等.红菜薹游离小孢子培养与植株再生[J].武汉植物学研究,2004,22(6):569-571.
- [4] 许会会,赵美爱,铃泰琳,等.薹菜再生体系的建立[J].西北农业学报.

2010,19(8):198-201.

- [5] 张鹏,凌定厚.提高菜心离体植株再生频率的研究[J].植物学报,1995,37(11):902-908.
- [6] 何晓明,潘瑞焱.薹菜组织培养和植株再生研究[J].上海农业学报,2001,17(2):34-40.
- [7] ZHANG F L,TAKAHATA Y,XU J B.Medium and genotype factors influencing shoot regeneration from cotyledonary explants of Chinese cabbage (*Brassica campestris* L.ssp.pekinensis) [J].Plant Cell Rep,1998,17(10):780-786.

(上接第29页)

3 结论

密度、施氮、施磷、施钾4个因素对产量产生一定影响,且产量随各因素的提高呈开口朝下的抛物线,存在产量最高点,各抛物线的顶点就是各单因子的最高产量,对应的是各因子的最优投入量。在试验设计范围内,当密度为123 750株/hm²时,产量为2 153.5kg/hm²;施N为52.5 kg/hm²时,产量为2 159.2 kg/hm²;施P₂O₅为52.5 kg/hm²时,产量为2 155.1 kg/hm²;施K₂O为58.5 kg/hm²时,产量为2 163.7 kg/hm²。

试验地区豇豆获得1 875 kg/hm²的产量,种植密度、氮肥、磷肥和钾肥的最优取值范围为:种植密度为120 465~128 295株/hm²,施N 40.49~54.66 kg/hm²,施P₂O₅ 42.92~56.24 kg/hm²,施K₂O 57.91~65.93 kg/hm²。

参考文献

- [1] 山西省统计局.山西统计年鉴-2014[EB/OL].[2018-06-05].http://www.statssx.gov.cn/tjsj/tjnj/nj2014/html/njcx.htm.
- [2] 李安林,熊双丽.豇豆籽蛋白的氨基酸含量与营养价值评价[J].食品研究与开发,2008,29(6):147-150.

- [3] 郑燕文.豇豆CAT活性的研究[J].安徽农业科学,2010,28(5):2036-2037,2366.
- [4] 王卫平,薛智勇,朱凤香,等.豇豆对营养元素的吸收积累与分配规律研究[J].水土保持学报,2013,27(6):158-161,171.
- [5] 梁银丽,熊亚梅,吴燕,等.日光温室豇豆产量和品质对水分和氮素水平的响应[J].水土保持学报,2008,22(5):142-145.
- [6] 徐胜光,廖新荣,蓝佩玲,等.两种不同土壤上镁和微肥对豇豆营养品质和产量的影响[J].南京农业大学学报,2005,28(2):59-63.
- [7] 祖艳侠,郭军,顾训峰,等.播期、密度对红豇豆的产量及部分产量性状的影响[J].江苏农业科学,2010(6):252-253.
- [8] 姜春霞,刘恩科,张伟,等.山西旱地豇豆品种鉴定比较[J].安徽农业科学,2017,45(23):32-34.
- [9] 王桂那,邢宝龙.晋北豇豆新品种鉴定筛选与评价[J].现代农业科技,2016(20):71-72.
- [10] 王洪皓,徐敏,赵秋.果园间作粒用豇豆播期与密度试验研究[J].农学报,2017,7(10):45-50.
- [11] KOWALSKI J.Optimal estimation in rotation patterns[J].J Statist Plan Infer,2009,139(4):1405-1420.
- [12] 谷叶,杨克军,林清河.肥密因子对寒地玉米产量效应分析[J].黑龙江八一农垦大学学报,2017,29(1):22-27,37.
- [13] 曲威,刘作新,张法升,等.水肥耦合对玉米籽粒全氮含量的影响[J].生态学杂志,2010,29(9):1749-1753.
- [14] 杨艳君,郭平毅,曹玉凤,等.施肥水平和种植密度对张杂谷5号产量及其构成要素的影响[J].作物学报,2012,38(12):2278-2285.
- [15] 杨洪宾,张建立,徐成忠,等.垄作小麦产量与氮磷钾肥三因子数学模型的优化解析[J].山东农业科学,2006(4):32-34.