

施肥量对奶花芸豆产量效应和养分吸收的影响^①

李俊华^{1,2}, 刘建国¹, 冯玉龙¹, 李英贤¹, 沈其荣²

(1 石河子大学农学院资源与环境系, 新疆石河子 832003; 2 南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095)

Effect of Fertilization Amount on Phaseolus Vulgaris Yield and Nutrient Absorption

LI Jun-hua^{1,2}, LIU Jian-guo¹, FENG Yu-long¹, LI Ying-xian¹, SHEN Qi-rong²

(1 College of Agronomy Science, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832003, China;

2 College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

摘 要: 用正交回归旋转组合设计, 研究了密度及 N、P(P₂O₅)、K(K₂O) 施用量对奶花芸豆产量的影响; 通过田间试验测定参数, 利用计算机技术对试验数据进行处理, 建立了产量函数模型; 经计算机模拟寻优, 筛选出了产量的最佳田间施肥方案。在试验条件下, 当奶花芸豆栽培密度为 167000 株/hm², 施 N 量 300 kg/hm², 施 P(P₂O₅) 量 200 kg/hm², 施 K(K₂O) 量 47 kg/hm² 组合时, 产量可达到 3825 kg/hm²。施肥能够提高奶花芸豆对 N、P、K 养分的吸收。

关键词: 奶花芸豆; 肥料运筹; 效应分析; 养分分析

中图分类号: S149.2

奶花芸豆是绿洲冷凉地区特色经济作物, 当前在栽培中主要问题是由于种植密度及施肥量不易掌握, 造成个体生长旺盛、群体密度大, 使得蔓生型的主茎在行间相互缠绕, 后期无法进行正常田间作业。同时, 田间郁闭、通风不良、病虫害危害, 严重影响产量和经济效益。为进一步探明奶花芸豆高产栽培中栽培密度及施肥运筹对群体质量及产量的影响, 对影响奶花芸豆产量最主要的种植密度和 N、P、K 肥施肥量等农艺措施进行田间试验, 以期建立新疆奶花芸豆高产综合农艺措施的数学模型, 优选最佳农艺措施组合方案, 明确大面积生产中合理的种植密度及 N、P、K 肥适宜用量, 为在生产上大面积推广应用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

试验于 2004 年和 2005 年在新疆阿勒泰地区农业科技中心试验站进行。土壤为沙壤土, 前作小麦, 全 N 0.98 g/kg, 全 P 0.81 g/kg, 碱解 N 62.3 mg/kg, 速效 P 28.8 mg/kg, 速效 K 300.1 mg/kg。供试奶花芸豆品种为阿芸一号, 施用 N 肥为尿素 (N 含量

46.3%), P 肥为三料磷 (P₂O₅ 含量 46%), K 肥为硫酸钾 (K₂O 含量 50%)。

1.2 试验设计

试验采用四因素二次回归正交旋转组合设计^[1], 4 因子分别为密度 (X₁)、施 N 量 (X₂)、施 P 量 (X₃)、施 K 量 (X₄), 各因子分别为 5 水平, 试验因素水平见表 1。按编码值制定试验方案, 共设 36 个小区, 小区面积 14.4 m²。P、K 肥全部作基肥; N 肥 60% 作基肥, 40% 作追肥在开花期施入。生育期灌水 5 次, 共 450 m³/hm², 其余栽培管理措施同大田生产一致。奶花芸豆于 5 月 9 日播种, 5 月 17 日出苗, 9 月 15 日收获。

1.3 采样及测定方法

在 8 月 10 日鼓粒始期采样, 每小区选取代表植株 3 株, 从子叶节剪断, 分茎、叶、籽粒和荚皮分别装入纸袋, 105℃ 杀青 30 min, 80℃ 条件下烘干称重。产量以各小区实际收获产量为准。之后选择了不施肥处理对照 (处理 32)、低 N (处理 19)、高 N (处理 20)、低 P (处理 21)、高 P (处理 22)、低 K (处理 23)、高 K (处理 24)、适量处理 (N、P、K 施用量都为 1 水平, 处理 8) 的奶花芸豆植株样品进行养

①基金项目: 国家科技攻关项目 (西部专项) (2003BA901A26) 资助。

作者简介: 李俊华 (1972—), 男, 陕西南郑人, 副教授, 博士研究生, 主要从事植物营养与肥料方面研究。E-mail: ljh_agr@shzu.edu.cn

表 1 试验因素与水平设计

因素	步长	变量水平				
		-2	-1	0	1	2
密度 (株/hm ²)	45000	60000	105000	150000	195000	240000
施 N 量 (kg/hm ²)	75	0	75	150	225	300
施 P 量 (P ₂ O ₅ kg/hm ²)	75	0	75	150	225	300
施 K 量 (K ₂ O kg/hm ²)	30	0	30	60	90	120

分分析测试，分析施肥对奶花芸豆各器官营养状况的影响。对奶花芸豆的籽粒、茎、叶、荚样品用浓硫酸、双氧水进行消煮。N 用碱解扩散法测定，P 用钒钼黄比色法测定，K 用火焰光度计法测定^[2]

2 结果与分析

2.1 施肥量对奶花芸豆产量趋势的效应分析

2.1.1 建立奶花芸豆总产量与种植密度、施 N 量、施 P 量、施 K 量水平间关系的数学模型 根据表

2 的数据，通过计算机进行计算，求得奶花芸豆总产量与种植密度、施 N 量、施 P 量、施 K 量水平间关系的数学模型，其表达式为：

$$Y = 3152.51660 + 136.82704X_1 + 294.17228X_2 + 105.67447X_3 + 35.05789X_4 - 176.89929X_1^2 - 36.90262X_2^2 - 85.92091X_3^2 + 40.23736X_4^2 - 31.09069X_1X_2 + 19.58700X_1X_3 + 9.03638X_1X_4 + 41.83950X_2X_3 + 12.78338X_2X_4 + 1.79794X_3X_4$$

表 2 各处理组合产量

处理	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	产量 (kg/hm ²)	估测产量 (kg/hm ²)
1	1	-1	-1	-1	2646.8	2653.9
2	1	-1	-1	1	2658.4	2712.9
3	1	-1	1	-1	2731.7	2817.1
4	1	-1	1	1	2811.4	2883.3
5	1	1	-1	-1	2884.3	3070.8
6	1	1	-1	1	2999.3	3180.9
7	1	1	1	-1	3222.2	3401.4
8	1	1	1	1	3302.7	3518.7
9	-1	-1	-1	-1	2263.4	2375.3
10	-1	-1	-1	1	2273.3	2398.2
11	-1	-1	1	-1	2337.8	2460.2
12	-1	-1	1	1	2348.8	2490.2
13	-1	1	-1	-1	2684.4	2916.6
14	-1	1	-1	1	2748.0	2990.6
15	-1	1	1	-1	2895.3	3168.8
16	-1	1	1	1	2953.0	3250.0
17	2	0	0	0	2567.5	2718.6
18	-2	0	0	0	2278.1	2171.3
19	0	-2	0	0	2220.1	2416.6
20	0	2	0	0	3915.2	3593.3
21	0	0	-2	0	2606.8	2597.5
22	0	0	2	0	3286.5	3020.2
23	0	0	0	-2	3203.0	3243.4
24	0	0	0	2	3239.5	3383.6
25	0	0	0	0	3251.8	3152.5
26	0	0	0	0	3120.2	3152.5

续表 2

27	0	0	0	0	3165.9	3152.5
28	0	0	0	0	3660.4	3152.5
29	0	0	0	0	3354.4	3152.5
30	0	0	0	0	3231.0	3152.5
31	0	0	0	0	3209.0	3152.5
32	0	-2	-2	-2	3497.7	2178.1
33	0	0	0	0	3570.4	3152.5
34	0	0	0	0	3240.0	3152.5
35	0	0	0	0	3465.6	3152.5
36	0	0	0	0	3420.0	3152.5

为了检验回归的有效性, 分别对方程进行失拟性方差测验和显著性测验得出以下结论:

(1) 进行失拟性方差测验: $F_1=2.68 < F_{0.01}=3.73$, 失拟项不显著, 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。

(2) 进行显著性测验: $F_2=5.84 > F_{0.01}=4.26$, 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是符合的^[3-4], 方程与实际情况拟和得较好。用回归方程对各处理产量进行估测, 从实测产量与估测产量比较来看, 方程的拟合程度较高。

(3) 通过计算, 该回归方程的复决定系数 $R^2 = 0.9153$, 说明奶花芸豆种植密度、施 N 量、施 P 量、施 K 量与对总产量的影响达 91.5%; 复相关系数 $r = 0.9567$, 说明试验的 4 个因子与总产量关系的密切程度达到极显著水平^[5]。

2.1.2 种植密度、施 N 量、施 P 量、施 K 量对奶花芸豆产量趋势的效应分析 将上述产量回归方程作降维处理后, 得到以下各试验因子的边际产量效应方程:

Y_1 (产量/种植密度) = 3152.51660 + 136.82704 X_1 - 176.89929 X_1^2

Y_2 (产量/施 N 量) = 3152.51660 + 294.17228 X_2 - 36.90262 X_2^2

Y_3 (产量/施 P 量) = 3152.51660 + 105.67447 X_3 - 85.92091 X_3^2

Y_4 (产量/施 K 量) = 3152.51660 + 35.05789 X_4 + 40.23736 X_4^2

由以上得到的方程式可知: 施 N 量、种植密度和施 P 量 3 个方程皆为上凸抛物线, 施 K 量为下凸抛物线, 以 N 肥效应曲线上斜率最大, 其次是种植密度和施 P 量。奶花芸豆施 N 量曲线在整个编码水平呈上升趋势, 但在 1 水平边际产量开始下降, 说明增加 N 肥的投入可持续提高产量, 但不是施 N 越多越好; 奶花芸豆种植密度在 -2、-1、0 水平是曲线斜率较大, 即增产效果十分明显, 而当超过 0 水平时, 则曲线斜率变为负值, 表明奶花芸豆种植密度要保持合理水平, 密度过大或过小都会影响产量; 施 P 量

曲线在 -2 到 -1 水平曲线斜率较大, 即增产效果较明显, 在 -1、0、1 水平时曲线斜率变化很小, 增产已不显著; K 肥的施用对奶花芸豆总产量的增加影响较小。K 肥肥料效应函数二次项系数为正值, 可能是由于该地区土壤速效 K 含量高 (300 mg/kg), 当地一般不施用 K 肥, 而我们设计的 K 肥施用量较小, 没有达到最高产量施肥量; 另外有可能是因为 K 素作为抗逆境元素, 一般施肥量难以出现报酬递减率的最高施肥量。

对 4 个方程分别求极值^[6], 得到各因素在其他因素为零水平时获得最高产量的因素编码值分别为: $X_1=0.387$, $X_2=3.986$, $X_3=0.615$, $X_4=-0.438$, 结合种植密度与施 N 量、施 P 量、施 K 量之间的互作效应可得出奶花芸豆的种植密度为 167000 株/hm², 施 N 量 300 kg/hm², 施 P 量 200 kg/hm², 施 K 量 47 kg/hm² 组合时, 可望在本试验条件下取得 3825 kg/hm² 的极值产量, 表明奶花芸豆的生产潜力很大。

2.2 施肥量对奶花芸豆养分含量的影响

2.2.1 施肥量对奶花芸豆籽粒养分含量的影响 由图 1 可以得知合理的施肥可以提高奶花芸豆的养分含量。其中由图 1a 可以看出适量 N、P、K 肥施用量处理与对照相比, 奶花芸豆籽粒 N 含量提高 58.15%, 低施 N 量处理又比适量 N、P、K 肥施用量处理高 26.84%。N 是奶花芸豆生长发育和产量形成的主要元素之一, 它是构成奶花芸豆籽粒蛋白质的主要成分, N 营养状况直接影响奶花芸豆产量的高低, 但 N 肥的用量并不是越多越好。在低施 N 量条件下, 奶花芸豆籽粒 N 含量较高, 可能与缺 N 使奶花芸豆早熟, N 素向籽粒集中分配有关。

图 1b 中适量 N、P、K 肥施用量处理与对照相比, 奶花芸豆籽粒 P 含量提高 48.12%, 说明 N、P、K 肥配合施用可以促进植物对 P 元素的吸收。图 1c 中适量 N、P、K 施用量处理与对照相比, 奶花芸豆

籽粒 K 含量提高 24.83%, 说明施肥同样可以促进植物对 K 元素的吸收。而低 K, 高 K 和适量 3 个施肥水平的籽粒含 K 量接近, 说明 K 肥对奶花芸豆的

影响较小。由上述结果可知不同的施肥量对奶花芸豆养分含量的影响也不相同, 而且肥料之间也存在交互效应^[7-8]。

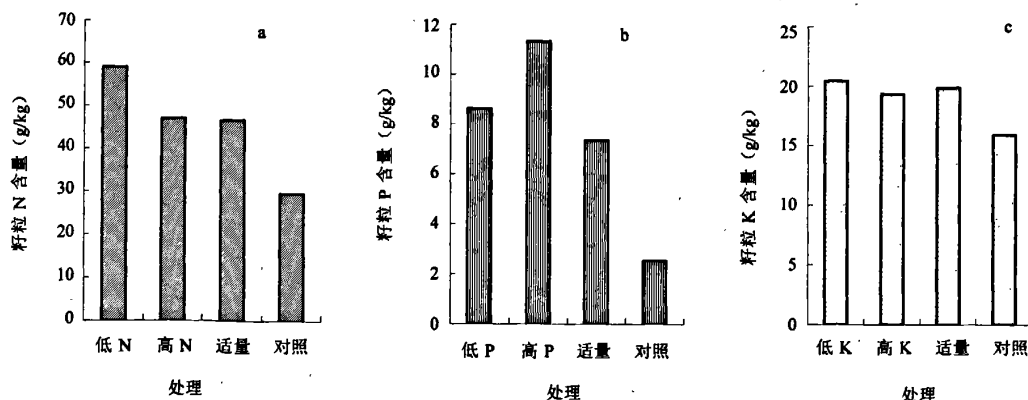


图1 不同施肥处理的奶花芸豆籽粒养分含量 (a. N 含量; b. P 含量; c. K 含量)

2.2.2 施肥量对奶花芸豆茎、叶、荚养分含量的影响

图 2a 中高施 K 量水平中奶花芸豆茎的含 N 量与叶和荚相比低 47.68%、61.14%。这是由于 K 参与奶花芸豆体内 N 的运输, 它在木质部运输中常常是 NO_3^- 的主要陪伴离子, K^+ 穿梭运输 NO_3^- , 促进有机酸代谢的功能, 同时也有利与 NO_3^- 的吸收, 有利于茎中 N 向叶和荚转移, K 明显提高奶花芸豆对 N 的利用, 也促进了奶花芸豆从土壤中吸收 N 素, 所以茎的含 N 量明显低于叶和荚。高施 N 量处理的奶花芸豆茎、叶、荚含 N 量比对照分别高出 3.92%、8.45% 和 30.11%; 高施 P 量处理的茎、叶、荚含 N 量比对照分别高出 20.42%、10.15% 和 31.64%。由此可见, 施 N、施 P 和施 K 都可以提高奶花芸豆对 N 素的吸收。

由图 2b 可知奶花芸豆含 P 量为荚>叶>茎。高施 N 量、高施 K 量、高施 P 量处理与对照相比: 奶花芸豆茎的含 P 量分别提高 5.8%、15.9%、11%; 叶的含 P 量分别提高 10.04%、10.37%、22.67%; 荚的含 P 量分别提高 8.65%、3.21%、10.41%。奶花芸豆含 P 量常受土壤 P 水平的影响, 施 P 肥提高了土壤 P 水平, 从而奶花芸豆的茎、叶、荚含 P 量也略高于不施肥处理。

植物体内的含 K 量常因作物种类和器官的不同而有很大的差异, 通常含淀粉、糖等碳水化合物较多的作物含 K 量较高。因此图 2c 中 4 个施肥水平的

奶花芸豆含 K 量基本都是茎>荚>叶。施肥促进了奶花芸豆对 K 的吸收, 使得植株各部位含 K 量高于对照, 同时也说明了 K 在植物中流动性很强, 易转移至地上部, 并有随植物生长中心转移而转移的特点。

3 结论

(1) 在本试验条件下, 各项农艺措施对奶花芸豆产量的影响大小为施 N 量>种植密度>施 P 量>施 K 量。种植密度与施 N 量、施 P 量之间存在互作效应, 在栽培措施中, 不仅要考虑主效措施, 也应考虑互作措施的选用。因此, 在生产中, 应合理密植, 重视个体株型塑造, 控制蔓生型的主茎在行间缠绕, 造成田间郁闭倒伏; 重视 N 肥和 P 肥的施用, 并适当配合 K 肥的施用, 发挥其综合增产效应。

(2) 通过对建立的奶花芸豆综合农艺措施数学模型模拟、优化, 按照高产、优质、高效的原则, 筛选出综合农艺措施最佳农艺方案为: 种植密度 167000 株/hm², 施 N 量 300 kg/hm², 施 P 量 200 kg/hm², 施 K 量 47 kg/hm² 组合。实施该优化组合方案, 奶花芸豆产量可达 3825 kg/hm²。

(3) 合理的施肥可以提高植物体内有机物的积累。同时, 肥料之间存在交互作用, 合理的施肥使植物对 N、P、K 3 大元素的吸收起到互相促进的作用, 从而使肥料达到最大程度的利用。

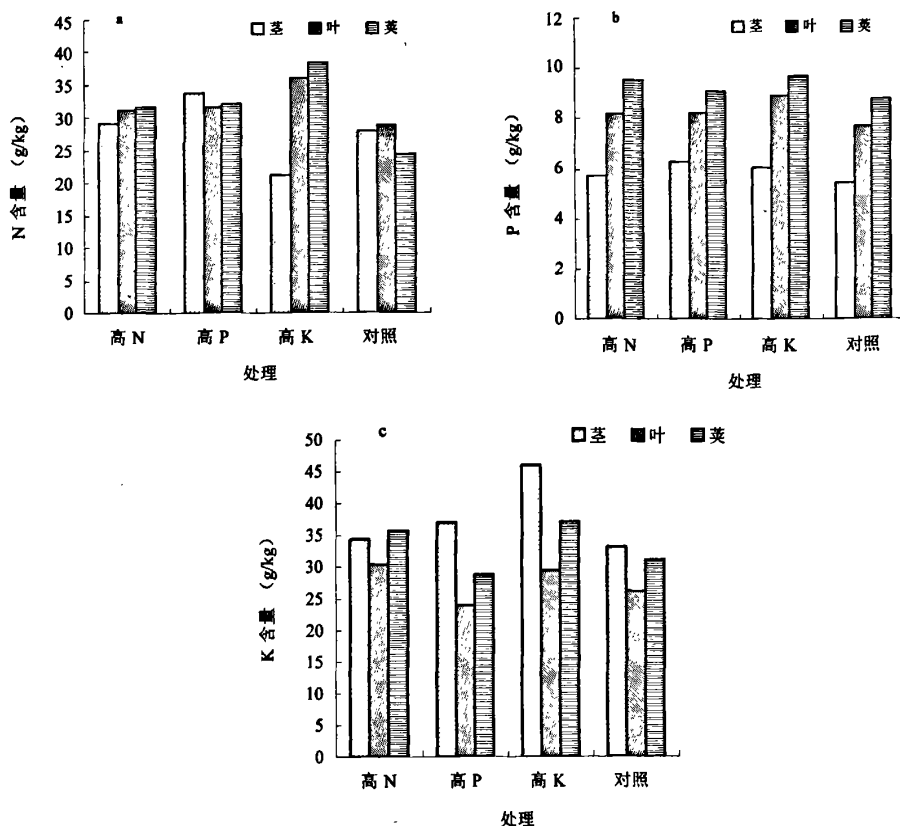


图 2 不同施肥处理的奶花芸豆茎、叶、荚营养成分含量 (a. N 含量; b. P 含量; c. K 含量)

参考文献:

- [1] 徐中儒. 回归分析与试验设计. 北京: 中国农业出版社, 1998
- [2] 鲍士旦. 土壤农化分析. 北京: 中国农业出版社, 2000
- [3] 张淑香, 金柯, 蔡典雄, 汪德水, 姚宇卿. 水分胁迫条件下不同氮磷组合对小麦产量的影响. 植物营养与肥料学报, 2003, 9(3): 276-279
- [4] 刘作新, 郑昭佩, 王建. 辽西半干旱区小麦、玉米水肥耦合效应研究. 应用生态学报, 2000, 11(4): 540-544
- [5] 黄欠如, 胡锋, 李辉信, 赖涛, 袁颖红. 红壤性水稻土施肥的产量效应及与气候、地力的关系. 土壤学报, 2006, 43(6): 926-933
- [6] 苏天增, 侯乐新, 李国现, 常瑞霞. 直播夏花生高产施肥模型及参数研究. 河南农业大学学报, 2004, 38 (3): 271-274
- [7] 谢金学, 谭和芳, 薛冬娥, 郑网宇. 水稻优质高产精确施氮参数研究. 土壤, 2006, 38 (3): 342-345
- [8] Guo ZL, Chen XP, Li JL, Xu JF, Shi LW, Zhang FS. Effect of N fertilization on grain yield of winter wheat and apparent N losses. Pedosphere, 2006, 16(6): 806-812