

种植密度和氮磷钾肥对药用菊花的产量及光合效率的影响^①周可金¹, 章力干², 张俊霞³, 马成泽²

(1 安徽农业大学农学院, 合肥 230036; 2 安徽农业大学资源环境学院, 合肥 230036; 3 安徽省亳州市农技推广中心, 安徽亳州 236000)

摘要: 采用4因素5水平通用旋转组合设计, 研究了种植密度和N、P、K肥4种栽培因子对药用亳菊的产量、单株开花数以及群体光合速率的主效应和互作效应。结果表明: N、K、P肥和种植密度对产量、净光合速率的影响均达到显著和极显著水平; N肥对单株开花数和单朵花重量达极显著正效应, K肥也有一定效应, 其他因素效应微弱。影响亳菊产量的最主要因素是N肥, 其次是密度。4种栽培因子对产量的影响顺序为: N>密度>K>P; 对净光合速率的影响顺序为: N>K>密度>P。获得亳菊高产的适宜密度为: 5.5~6.0 万株/hm², 施肥剂量范围为: N 339.5~384.7 kg/hm², P₂O₅ 161.2~195.7 kg/hm², K₂O 291.5~344.0 kg/hm², 三者的合理配比为: N:P₂O₅:K₂O=1:0.51:0.89。

关键词: 种植密度; 氮磷钾肥; 药用菊花; 产量; 净光合速率

中图分类号: S512

菊花全国各地都有栽培, 以安徽的亳菊、滁菊、贡菊和浙江的杭白菊最为著名, 尤其是亳州菊花(简称: 亳菊), 为我国重要的出口中药材, 被誉为药用佳品。肥料是药用植物生长不可缺少的重要物质, 对促进药材的生长发育、产量和品质形成起主导作用, 但不能沿用农作物的施肥方法。长期以来, 亳州药农都是凭经验种植中药材, 栽培管理技术粗放, 肥料乱施, 药材产量、品质和药效大幅下降。目前关于亳州地道中药材菊花的施肥效应等方面的研究少见报道^[1-7]。因此, 我们于2006—2007年连续2年采用4因子正交旋转组合设计方法, 研究了N、P、K肥和种植密度对菊花产量与光合特性的影响。本研究采用2007年的试验结果, 通过计算机模拟寻优, 筛选出菊花产量>900 kg/hm²最佳施肥配方和种植密度方案, 总结出施用N、P、K肥的合理配比, 为亳菊大面积高产高效栽培提供理论依据。

1 材料与方法

试验于2007年在安徽亳州中药材高科技示范园进行。土壤为潮土, 主要理化性质是: pH 7.6, 有机质含量 7.0 g/kg, 速效氮(N) 16.5 mg/kg, 速效磷(P₂O₅) 22.5 mg/kg, 速效钾(K₂O) 74.5 mg/kg, 有效硫(S) 10.5 mg/kg, 有效硼(B) 4.1 mg/kg, 有效锌(Zn) 2.5 mg/kg。前茬为板蓝根。

采用4因素通用旋转组合设计^[8], 共31个处理, 随机排列, 小区面积 20 m²。因素及水平详见表1。尿素(含N 460 g/kg) 50%在整地时基施, 其余在现蕾期前追肥。普通过磷酸钙(P₂O₅: 120 g/kg) 和KCl(含K₂O 600 g/kg) 一次性作底肥施用。取苗床生长一致的菊花苗, 按照移栽密度规格开穴移栽, 每穴栽1株, 穴深 5~6 cm, 栽插时间为4月29日。田间管理同大田。

表1 试验因素和水平线性编码表

Table 1 Levels of factors and linear encoding

因素	变化区间	水平编码				
		-2	-1	0	1	2
密度 (X_1) (万株/hm ²)	0.8	3.2	4.0	4.8	5.6	6.4
N (X_2) (kg/hm ²)	75	75	150	225	300	375
P ₂ O ₅ (X_3) (kg/hm ²)	50	50	100	150	200	250
K ₂ O (X_4) (kg/hm ²)	75	75	150	225	300	375

①基金项目: 国际植物营养研究所 IPNI 项目 (Anhui-17) 和国家科技支撑计划项目 (2009BADA6B01) 资助。

作者简介: 周可金 (1965—), 男, 安徽无为, 博士, 教授, 主要从事作物栽培与养分管理研究。E-mail: zhoukej@163.com

在 10 月 25 日从各处理随机抽取 5 株,采用 TPS-1 型便携式光合测定系统在上午 10:00 时左右,测定倒 5 叶的净光合速率等参数;成熟期取样测定单株开花数和每朵花的大小与重量,收获后测定产量。用 DPS 6.55 统计分析软件对数据进行处理和统计分析。

2 结果与分析

2.1 密度与施肥效应方程建立

2.1.1 方程的建立与限制因子分析 用计算机对试验结果数据进行统计分析,在 $\alpha=0.10$ 显著水平剔除不显著项后,建立了菊花主要性状(净光合速率、单株开花数和单花质量)及产量与 4 个可控因素(密度、N 肥、P 肥、K 肥)间的简化后回归方程(表 2)。经检验,各回归模型均达显著水平(产量的方差分析见表 3),失拟因素的 F 检验除单株开花数以外均未达显著水平。

表 2 4 个因素回归方程及其 F 测验
Table 2 Regression equations and F test of four factors

项目	回归模型	编号	方程检验	失拟测验
产量	$Y_1 = 1091.0 + 57.1X_1 + 103.0X_2 + 25.0X_3 + 50.3X_4 + 27.1X_1X_2 - 72.5X_1^2 - 63.3X_2^2 - 49.5X_3^2 - 36.9X_4^2$	(1)	$F = 10.08^{**}$	$F_i = 2.07^{NS}$
单株开花数	$Y_2 = 329.4 + 10.0X_1 + 32.7X_2 + 11.3X_4 + 13.0X_1X_2 + 17X_1X_3 - 23.5X_1^2 - 27.5X_2^2 - 19.5X_3^2 - 17.5X_4^2$	(2)	$F = 4.94^{**}$	$F_i = 1.96^{NS}$
花朵重量	$Y_3 = 0.21 + 0.02X_2 - 0.016X_1^2 - 0.019X_2^2 - 0.014X_3^2 - 0.012X_4^2$	(3)	$F = 4.28^*$	$F_i = 0.897^{NS}$
净光合速率	$Y_4 = 11.86 + 0.62X_1 + 1.12X_2 + 0.27X_3 + 0.55X_4 + 0.29X_1X_2 - 0.79X_1^2 - 0.69X_2^2 - 0.54X_3^2 - 0.40X_4^2$	(4)	$F = 10.09^{**}$	$F_i = 2.05^{NS}$

注:① NS、*、** 分别表示不显著、 $p<0.05$ 水平显著、 $p<0.01$ 水平显著;②回归方程的显著性测验: $F_{0.05}(14,16) = 2.44$, $F_{0.01}(14,16) = 3.62$;③失拟检验: $F_{i0.05}(10.6) = 4.06$, $F_{i0.01}(10.6) = 7.87$ 。

表 3 产量方差分析表
Table 3 Variance analysis of yield

变异来源	平方和	df	MS	F 值	P 值
X_1	130 824.7	1	130 824.7	25.652 9	0.000 1
X_2	425 660.2	1	425 660.2	83.466 1	0.000 1
X_3	24 972.87	1	24 972.87	4.896 8	0.041 8
X_4	101 398	1	101 398	19.882 8	0.000 4
X_1^2	251 291.5	1	251 291.5	49.274 8	0.000 1
X_2^2	191 283.5	1	191 283.5	37.508 1	0.000 1
X_3^2	117 188.8	1	117 188.8	22.979 1	0.000 2
X_4^2	65 061.99	1	65 061.99	12.757 8	0.002 6
X_1X_2	19 574.1	1	19 574.1	3.838 2	0.067 8
回归	719 551.1	14	51 396.51	$F_2 = 10.078$	0.000 1
剩余	81 596.75	16	5 099.797		
失拟	63 278.75	10	6 327.875	$F_1 = 2.073$	0.093 5
误差	18 318	6	3 053		
总和	801 147.9	30			

经过无量纲线性编码代换后,回归系数 b_i 已达标准化,其 $|b_i|$ 大小可直接反映变量 X_i 对产量等指标的影响程度。群体的产量和光合速率则受种植密度、N、P 和 K 肥等因素的综合制约;单株开花数受种植密度、N 和 K 三种因素的综合制约,P 肥影响较小;单朵花的重量则主要受 N 因素的制约,其他因素的影响较小。即各因子对产量和光合效率的影响大小顺序均为: $N>$ 密度 $>K>P$;对单株开花数和花朵重量的影响大

小顺序均为: $N>K>$ 密度 $>P$ 。由此可见, N 肥是限制毫菊光合效率与产量的主要因子,其次是种植密度; P 和 K 肥对产量的影响较小。群体净光合速率是影响菊花产量的重要指标之一,在本研究中,它与产量的关系达极显著水平。因此,我们应合理调整群体结构,合理施肥,提高光合效率,以使菊花丰产稳产。

2.1.2 单因素效应分析 将产量、光合效率、单株开花数及花朵重量的方程作降维处理,即将其他 3 个

自变量固定在 0 水平, 分别得到 4 组单因子效应方程 (表 4) 和效应图 (图 1、2)。

表 4 四组单因子效应方程

Table 4 Equations of yield effect of four groups of different single factor

项目	效应方程
产量	$y_1 = 1091.0 + 57.1X_1 - 72.5X_1^2$; $y_2 = 1091.0 + 103.0X_2 - 63.3X_2^2$; $y_3 = 1091.0 + 25.0X_3 - 49.5X_3^2$; $y_4 = 1091.0 + 50.3X_4 - 36.9X_4^2$
单株开花数	$y_1 = 329.4 + 10.0X_1 - 23.5X_1^2$; $y_2 = 329.4 + 32.7X_2 - 27.5X_2^2$; $y_3 = 329.4 - 19.5X_3^2$; $y_4 = 329.4 + 11.3X_4 - 17.5X_4^2$
花朵重量	$y_1 = 0.21 - 0.016X_1^2$; $y_2 = 0.21 + 0.02X_2 - 0.019X_2^2$; $y_3 = 0.21 - 0.014X_3^2$; $y_4 = 0.21 - 0.012X_4^2$
净光合速率	$y_1 = 11.86 + 0.62X_1 - 0.79X_1^2$; $y_2 = 11.86 + 1.12X_2 - 0.69X_2^2$; $y_3 = 11.86 + 0.27X_3 - 0.54X_3^2$; $y_4 = 11.86 + 0.55X_4 - 0.40X_4^2$

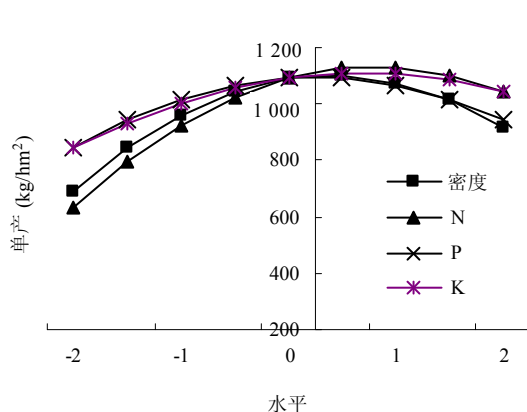


图1 产量的效应曲线

Fig. 1 Curves of yield effect

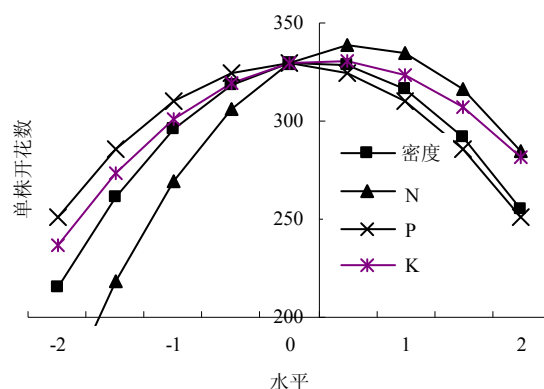


图2 单株开花数的效应曲线

Fig. 2 Curves of No. of flowers effect

从图 1 可以看出, 密度和 N、P、K 肥对产量影响效应曲线是呈二次函数关系, 而且抛物线开口向下, 说明这些因子均存在合理范围问题, 在一定范围内增施 N、P、K 肥和提高种植密度可以提高菊花产量, 但是施肥量过多或密度过大就会反而降低菊花产量, 除 P 肥在 0 水平外, 其他因素均在 1 水平产量达到最大值。群体净光合速率与产量结果是一致的。

从图 2 可以看出, 密度和 N、P、K 肥对单株开花数影响效应曲线也是呈二次函数抛物线关系, 在一定范围内增施 N、P、K 肥和提高种植密度可以增加单株开花数, 但是施肥量过多或密度过大也会反而降低, 除 N 肥在 1 水平外, 其他因素均在 0 水平达到最大值。花朵重量与开花数结果是一致的。

2.1.3 交互效应分析 对产量和净光合效率影响因素中, 只有 X_1X_2 交互效应达到显著水平, 其他因素交互效应不显著; 对单株开花数存在 X_1X_2 、 X_1X_3 两项交互效应显著; 而影响单朵花重量的各因素的交互效应均不显著。

对产量 (Y_1) 和净光合效率 (Y_4): 将 X_3 、 X_4 固定在 0 水平, 代入简化回归方程 (1) 和 (4) 便得到

X_1X_2 交互作用的子方程, 其数学表达式分别为:

$$Y_1 = 1091.0 + 57.1X_1 + 103.0X_2 + 27.1X_1X_2 - 72.5X_1^2 - 63.3X_2^2$$

$$Y_4 = 11.86 + 0.62X_1 + 1.12X_2 + 0.29X_1X_2 - 0.79X_1^2 - 0.69X_2^2$$

将 X_1 、 X_2 的不同水平值代入方程, 可得互作效应图 3 和图 4。图 3 表明其交互作用图是一个以 X_2 的 1 水平为顶点开口向下的对称曲面, 顶点随 X_1 水平的变化而变化, 产量随着 X_1 水平的升高而升高。当密度和施 N 量均在 1 水平时产量最高。净光合效率的变化与产量相似 (图 4)。

2.2 最高产量和最大光合效率的最佳农艺措施方案

从方程可以看出, 密度和 3 种肥料对菊花产量及净光合速率的作用效果是相同的。在自变量设计范围内, 取步长为 1 时, 在 123 个方案中模拟寻优, 从而筛选出产量 $>900 \text{ kg/hm}^2$ 的不同密度和施肥区间如表 5。结果表明: 产量 $>900 \text{ kg/hm}^2$ 的优化方案是: 密度 $5.5 \sim 6.0$ 万株/ hm^2 , N $339.5 \sim 384.7 \text{ kg/hm}^2$, P_2O_5 $161.2 \sim 195.7 \text{ kg/hm}^2$, K_2O $291.5 \sim 344.0 \text{ kg/hm}^2$; 3 元素的合理配比为 N : P_2O_5 : K_2O = 1 : 0.51 : 0.89。从上述方案可知, 说明要获得菊花高产 3 种肥料要合理配比,

特别注意要增施 N 肥和 K 肥。其中获得最大产量的栽培措施为: 密度为 5.6 万株/hm², N 300 kg/hm², P₂O₅

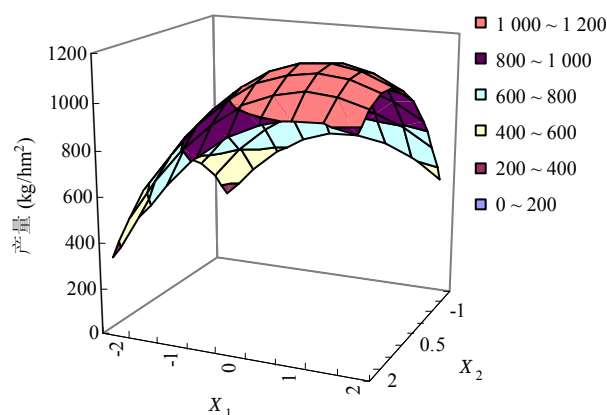


图 3 密度 (X_1) 与 N 肥 (X_2) 对产量的交互作用

Fig. 3 Interaction effects of density (X_1) and nitrogen (X_2) on yield

图 4 密度 (X_1) 与 N 肥 (X_2) 对光合效率的交互作用

Fig. 4 Interaction effects of density (X_1) and nitrogen (X_2) on net photosynthetic rate

表 5 密度与 3 种肥料的优化农艺措施方案

Table 5 Optimal recommendation of density and fertilizers

自变量水平	产量 > 900 kg/hm ²							
	X_1		X_2		X_3		X_4	
	次数	频率	次数	频率	次数	频率	次数	频率
-2	0	0	0	0	1	0.008 1	0	0
-1	13	0.105 7	4	0.032 5	29	0.235 8	19	0.154 5
0	45	0.365 9	37	0.300 8	41	0.333 3	36	0.292 7
1	45	0.365 9	48	0.390 2	38	0.308 9	41	0.333 3
2	20	0.162 6	34	0.276 4	14	0.113 8	27	0.219 5
T	123	1	123	1	123	1	123	1
$\bar{X}$	0.585		0.911		0.285		0.618	
S_x	0.08		0.075		0.088		0.089	
95% 置信区间	0.429 ~ 0.741		0.763 ~ 1.058		0.112 ~ 0.457		0.443 ~ 0.793	
农艺措施	5.5 ~ 6.0 万株/hm ²		N 339.5 ~ 384.7 kg/hm ²		P ₂ O ₅ 161.2 ~ 195.7 kg/hm ²		K ₂ O 291.5 ~ 344.0 kg/hm ²	

150 kg/hm², K₂O 300 kg/hm², 最大产量为 1 155.8 kg/hm², 光合效率也是最高的, 达到 12.56 $\mu\text{mol CO}_2/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 。

3 结论

(1) 菊花为喜高燥怕积水植物, 本试验在可控肥水的条件下, 建立精度较高的产量回归方程: $Y = 1\,091.0 + 57.1X_1 + 103.0X_2 + 25.0X_3 + 50.3X_4 + 27.1X_1X_2 - 72.5X_1^2 - 63.3X_2^2 - 49.5X_3^2 - 36.9X_4^2$, 并通过回归系数的检验, 判断各养分因子效应的大小, 找出影响毫菊产量的限制因子为 N 肥, 其次是密度和 K 肥, 而且 N 肥与密度的互作效应显著, 从而为制定丰

产措施提供依据。

(2) 通过电脑模拟寻优: 找出了菊花产量 > 900 kg/hm² 时, 密度和 3 种肥料的最优区间为种植密度 5.5 ~ 6.0 万株/hm², N 339.5 ~ 384.7 kg/hm², P₂O₅ 161.2 ~ 195.7 kg/hm², K₂O 291.5 ~ 344.0 kg/hm², N、P、K 的合理配比为 N : P₂O₅ : K₂O = 1 : 0.51 : 0.89。获得最大产量的综合措施为: 密度 5.6 万株/hm², N 300 kg/hm², P₂O₅ 150 kg/hm², K₂O 300 kg/hm², 最大产量为 1 155.8 kg/hm²。

(3) 单株开花数和花朵重量的分析结果表明: 各因子的影响大小顺序为: N > K > 密度 > P。与产量的差异是 K 肥起的作用比较大, 超过密度的影响。因此,

在本试验条件下, 获得菊花高产必须充分保证合理的密度 ($5.5 \sim 6.0$ 万株/hm²), 在增施N肥的基础上, 增施K肥, 从而发挥最大的光合效率, 提高群体产量。

参考文献:

- [1] 路伟, 周可金, 章力干, 马成泽. 不同氮磷钾组合对亳菊农艺性状及产量的影响. 安徽农学通报, 2007, 13(7): 100-102
- [2] 张玉霞, 张国平, 钟攀, 李建勇, 董燕, 王正银, 蔡国学, 漆华. 不同肥料组合对生姜产量和品质的影响. 土壤, 2007, 39(6): 973-977
- [3] 郝文雅, 刘德辉, 徐飞, 杨剑波, 盛蒂. 施肥对栽培菊花土壤的有机无机复合性状和菊花产量与品质的影响. 土壤, 2008, 40(4): 616-621
- [4] 吴兰云, 徐茂林. 优化施肥对小麦品质和产量的效应研究. 土壤, 2003, 35(2): 152-155
- [5] 田华, 刘博, 段美洋, 钟克友, 黎国喜, 唐湘如. 氮磷钾硅肥对香稻桂香占产量及品质的影响. 华北农学报, 2009, 24(2): 190-195
- [6] 褚清河, 潘根兴, 廖宗文, 李键英. 土壤养分类型与玉米氮磷最适施肥比例. 土壤通报, 2004, 35(6): 750-752
- [7] 褚清河, 潘根兴, 张旭辉. 土壤养分类型与小麦最佳施肥比例及最大施肥量的关系. 土壤通报, 2008, 39(5): 1 077-1 080
- [8] 萧兵. 农业多因素试验与统计分析. 长沙: 湖南科学技术出版社, 1985

Effects of Nitrogen, Phosphorus, Potassium and Density on Yield and Photosynthetic Efficiency of *Chrysanthemum morifolium* Ramat.

ZHOU Ke-jin¹, ZHANG Li-gan², ZHANG Jun-xia³, MA Cheng-ze²

(1 College of Agriculture, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China; 2 College of Resources and Environment, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China; 3 Bozhou Agricultural Technology Promotion Center, Bozhou, Anhui 236000, China)

Abstract: Based on the universal rotary composition designing method of 4 factors and 5 levels, the effects of applications of nitrogen, phosphate, potassium and density on the yield and number of flowers and net photosynthetic rate (Pn) of herb chrysanthemum were studied. The results indicated that N, K, P applications and the density affected the yield and Pn significantly. N positively affected significantly on No. of flowers per plant and the weight of single flower, and K also had a little affect, but other factors showed weak effects. In terms of effect on yield, the order was of N>density>K>P; while in terms of effect on Pn, the order was N>K>density>P. The reasonable yield can be obtained when the application rates of N, P₂O₅ and K₂O ranged within 339.5 - 384.7 kg/hm², 161.2 - 195.7 kg/hm² and K₂O 291.5 - 344.0 kg/hm², respectively, while the density ranged within $(5.5 \sim 6.0) \times 10^4$ plants/hm². The reasonable proportion of N, P₂O₅, K₂O in formulated fertilization should be 1:0.51:0.89.

Key words: Density, Fertilizer, *Chrysanthemum morifolium* Ramat., Yield, Net photosynthetic rate