

不同密度、肥料和品种对红花主要农艺性状及品质的影响

王沛琦, 胡尊红, 刘旭云, 胡学礼*, 杨 谨*

(云南省农业科学院经济作物研究所, 云南 昆明 650205)

摘 要: 为获得红花高产, 采用 $L_{16}(4^5)$ 正交试验设计, 研究不同密度、氮磷钾肥和品种对红花农艺性状、产量及品质的影响。结果表明: 密度对茎粗影响不显著, 对百粒重、含油量影响显著, 对其余性状影响极显著; 氮肥对株高、含油量影响不显著, 对茎粗、果球着粒数影响显著, 对其余性状影响极显著; 磷肥对单株及小区花瓣产量影响不显著, 对株高、茎粗及含油量影响显著, 对其余性状影响极显著; 钾肥对株高、果球着粒数及羟基红花黄色素 A 影响不显著, 对其余性状影响极显著; 品种对所有性状影响极显著。通过各因素不同水平的综合平衡分析比较, 在云南红花主产区采用 12.5 万株/hm² 的种植密度 (40 cm × 20 cm)、375 kg/hm² 的施氮量、225 kg/hm² 的施磷量、240 kg/hm² 的施钾量以及选用品种云红三号的红花生产技术模式, 可达到增产增效的最佳效果。

关键词: 红花; 密度; 肥料; 品种; 产量; 品质

红花 (*Carthamus tinctorius* L.) 属于菊科红花属的一年生草本植物, 起源于地中海东岸的“新月地带”, 在印度、美国、墨西哥、中国等国家广泛种植^[1-2]。红花花瓣具有活血通经, 散瘀止痛之功效, 用于缓解闭经、痛经、恶露不行、癥瘕痞块、胸痹心痛、瘀滞腹痛、胸胁刺痛、跌扑损伤、疮疡肿痛等症状, 同时其还能用作染料; 红花种子可榨油, 亚油酸含量高达 80%, 被誉为“亚油酸之王”, 长期食用具有很好的保健作用, 同时其也可作为工业用油^[3-5]。在我国红花栽培历史悠久, 汉代就有关于红花栽培及用作染料的记载, 东汉时期已将红花入药^[6]。红花耐旱性较强, 主要在干旱及半干旱山区种植^[7]。

施肥量及种植密度是影响作物的群体环境、品质和产量构成的两个重要因素^[8]。前人对红花的研究主要集中在资源的评价分析上^[9-12], 对红花栽培措施的研究仅限于播期和密度, 如周慧君等^[13]研究表明随着密度增加分枝数及果球数减少, 产量降低; 播期早的, 产量高, 经济效益好。刘超等^[14]

研究认为密度对红花产量及黄色素含量影响很大; 随着播种期推迟花丝和籽实产量降低。李彬瑞等^[15]研究表明随着种植密度增加, 红花花丝产量和籽实产量先升高后降低。关于施肥量对红花品质性状的影响还未见报道。为此, 本研究采用正交设计方法, 探讨不同种植密度和不同用量氮、磷、钾配合施用后对不同云南红花品种农艺性状、产量及品质性状的影响, 旨在筛选适于云南红花生产的最佳种植模式, 为云南红花的高效栽培提供理论依据, 为红花的推广种植和产业发展奠定基础。

1 材料与方法

1.1 供试材料

以云南省农业科学院选育的“云红一号”、“云红二号”、“云红三号”以及“云红四号”为试验材料。肥料为尿素 (N 46%)、过磷酸钙 (P₂O₅ 20%)、氯化钾 (K₂O 47%)。

1.2 试验地选择

试验在云南元谋县农场进行, 试验点年均气温 21.9℃, ≥ 10℃年积温 7786℃, 终年基本无霜 (持续时间 350 d), 年降水量 615.1 mm, 雨量占年降水量的 90% 以上; 该区光热资源丰富, 年日照时数 2670 h, 日照百分率 62%, 全年太阳总辐射量 641.8 kJ/cm²。土壤类型为砂壤土, 前作小麦, 土壤有机质含量为 12.44 g/kg, 全氮为 1.07 g/kg, 碱解氮为 60.96 mg/kg, 全磷为 1.89 g/kg, 有效磷为 70.18 mg/kg, 全钾为 6.29 g/kg, 速效钾为 97.59 mg/kg。

收稿日期: 2022-02-18; 录用日期: 2022-04-02

基金项目: 中央引导地方科技发展资金 (202107AC110004); 云南省财政项目—绿色食品品牌打造科技支撑行动 (特色经作); 云南省重大科技专项与重点研发计划 (农业领域)—云南省南涧县中药材红花产业科技特派团 (202204BI090049)。

作者简介: 王沛琦 (1989-), 助理研究员, 硕士, 研究方向为红花优质高产栽培技术研究, E-mail: 954485835@qq.com。

通讯作者: 胡学礼, E-mail: hxl426516@163.com; 杨谨, E-mail: 76116081@qq.com。

1.3 试验设计

试验采用正交设计,考察不同密度、不同施肥量对不同品种红花农艺性状、产量及品质性状的影响。因素包括密度 A、施氮肥量 B、施磷肥量 C、施钾肥量 D 以及品种 E,每个因素 4 个水平。根据选定的因素与水平,采用 $L_{16}(4^5)$ 正交表,共 16 个处理,每

个处理重复 3 次,共 48 个小区,每个小区面积 7 m^2 ,随机区组排列,四周设保护行。具体试验设计见表 1。各小区施肥方案为氮肥第一次施用在播种前作基肥施入,第二次施用在苗期完成,第三次施用在现蕾期完成;钾肥、磷肥作基肥一次性施入,具体氮肥、磷肥、钾肥施用量规格见表 2。

表 1 $L_{16}(4^5)$ 正交试验设计

处理编号	因子				
	A 密度 (cm)	B 氮肥量 (kg/hm^2)	C 磷肥量 (kg/hm^2)	D 钾肥量 (kg/hm^2)	E 品种
1	1 (40×15)	1 (150)	1 (75)	1 (60)	1 (1号)
2	1 (40×15)	2 (225)	2 (150)	2 (120)	2 (2号)
3	1 (40×15)	3 (300)	3 (225)	3 (180)	3 (3号)
4	1 (40×15)	4 (375)	4 (300)	4 (240)	4 (4号)
5	2 (40×20)	1 (150)	2 (150)	3 (180)	4 (4号)
6	2 (40×20)	2 (225)	1 (75)	4 (240)	3 (3号)
7	2 (40×20)	3 (300)	4 (300)	1 (60)	2 (2号)
8	2 (40×20)	4 (375)	3 (225)	2 (120)	1 (1号)
9	3 (50×15)	1 (150)	3 (225)	4 (240)	2 (2号)
10	3 (50×15)	2 (225)	4 (300)	3 (180)	1 (1号)
11	3 (50×15)	3 (300)	1 (75)	2 (120)	4 (4号)
12	3 (50×15)	4 (375)	2 (150)	1 (60)	3 (3号)
13	4 (50×20)	1 (150)	4 (300)	2 (120)	3 (3号)
14	4 (50×20)	2 (225)	3 (225)	1 (60)	4 (4号)
15	4 (50×20)	3 (300)	2 (150)	4 (240)	1 (1号)
16	4 (50×20)	4 (375)	1 (75)	3 (180)	2 (2号)

表 2 具体施肥方案 (kg/hm^2)

氮肥	氮肥			磷肥	
	基肥	伸长肥	现蕾期肥	基肥	基肥
150	75	30	45	75	60
225	105	45	75	150	120
300	135	60	105	225	180
375	165	75	135	300	240

1.4 试验方法

成熟收获时,按照《红花种质资源描述规范和数据标准》^[16]的要求进行性状调查,每小区随机抽取 5 株进行调查,分别测量株高、茎粗、有效分枝、果球着粒数、百粒重、单株种子产量等性状。含油量测定采用索氏抽提法^[17],羟基红花黄色素 A (HSYA) 测定参照 2020 版中国药典的测定方法^[18],

采用 Agilent1260 高效液相色谱仪(产地美国)进行测定,羟基红花黄色素 A 的标准品购于中国食品药品检定研究院。

1.5 数据处理

数据采用 Excel 2007 计算平均值、标准差及作图等;SPSS 19.0 进行方差分析;差异显著性分析采用 LSD 法;综合平衡法分析得到最优组合。

2 结果与分析

2.1 不同处理下主要农艺性状及品质性状

不同组合下的农艺性状及品质性状如表 3 所示,从表中可以看出株高最高为处理 13 ($A_4B_1C_4D_2E_3$),最低为处理 2 ($A_1B_2C_2D_2E_2$);茎粗最粗为处理 2 ($A_1B_2C_2D_2E_2$),最细为处理 1 ($A_1B_1C_1D_1E_1$);有效分枝数最多为处理 7 ($A_2B_3C_4D_1E_2$),最少为处理 15 ($A_4B_3C_2D_4E_1$);果球着粒数最多为处理 5

表 3 正交试验设计参数组合及试验结果

处理 编号	植株形态				产量					品质	
	株高 (cm)	茎粗 (cm)	有效分枝数 (个)	果球着粒数	百粒重 (g)	单株种子 产量 (g)	单株花瓣 产量 (g)	小区种子 产量 (g)	小区花瓣 产量 (g)	羟基红花黄 色素 A (%)	含油量 (%)
1	129.37	1.00	27.70	19.54	5.56	17.46	2.88	2077.74	342.16	2.38	23.00
2	128.67	1.34	32.77	23.63	3.88	21.80	2.69	2594.20	319.92	2.87	25.02
3	141.77	1.10	29.97	24.99	4.11	25.30	3.05	3010.70	363.21	2.97	24.28
4	139.73	1.11	31.70	31.36	4.53	27.81	2.92	3309.39	347.57	2.99	29.39
5	143.60	1.02	27.00	35.00	3.98	27.18	3.78	2310.30	321.11	2.63	29.04
6	143.87	1.01	36.83	33.66	4.33	38.29	4.20	3254.65	357.39	2.59	25.80
7	143.10	1.21	38.70	25.58	4.33	37.48	3.27	3185.80	277.76	2.61	24.71
8	129.17	1.18	33.45	21.60	5.76	38.45	3.00	3268.25	254.88	3.27	22.64
9	137.27	1.19	37.77	19.89	3.67	37.40	3.89	3665.20	380.78	2.83	24.55
10	135.47	1.08	28.03	21.72	4.93	30.22	3.34	2961.56	327.32	2.18	22.67
11	143.00	1.15	33.27	30.85	4.32	32.42	3.46	3177.16	339.37	2.45	28.94
12	145.63	1.12	26.40	31.21	4.47	32.31	4.08	3166.38	399.51	2.86	23.48
13	150.63	1.11	27.27	29.05	4.87	32.95	4.00	2306.50	280.25	2.63	24.81
14	143.10	1.19	36.43	27.94	3.81	30.40	3.41	2128.00	238.84	2.94	28.38
15	135.50	1.09	25.70	15.92	5.61	29.78	3.24	2084.60	226.70	2.53	23.41
16	141.37	1.19	32.08	16.79	3.83	30.32	3.57	2122.40	249.91	3.19	25.03

($A_2B_1C_2D_3E_4$), 最少为处理 15 ($A_4B_3C_2D_4E_1$); 百粒重最高为处理 8 ($A_2B_4C_3D_2E_1$), 最低为处理 9 ($A_3B_1C_3D_4E_2$); 单株种子产量最高为处理 8 ($A_2B_4C_3D_2E_1$), 最低为处理 1 ($A_1B_1C_1D_1E_1$); 单株花瓣产量最高为处理 6 ($A_2B_2C_1D_4E_3$), 最低为处理 2 ($A_1B_2C_2D_2E_2$); 小区种子产量最高为处理 9 ($A_3B_1C_3D_4E_2$), 最低为处理 1 ($A_1B_1C_1D_1E_1$); 小区花瓣产量最高为处理 12 ($A_3B_4C_2D_1E_3$), 最低为处理 15 ($A_4B_3C_2D_4E_1$); 羟基红花黄色素 A 最高为处理 8 ($A_2B_4C_3D_2E_1$), 最低为处理 10 ($A_3B_2C_4D_3E_1$); 含油量最高为处理 4 ($A_1B_4C_4D_4E_4$), 最低为处理 8 ($A_2B_4C_3D_2E_1$)。

2.2 不同处理对植株农艺性状的影响

2.2.1 植株农艺性状的极差分析

不同处理对植株形态具有较大的影响。通过对植株农艺性状数据 (图 1) 进行极差分析发现, 5 个因素对株高影响的大小排序为: 品种 (E) > 密度 (A) > 磷肥 (C) > 氮肥 (B) > 钾肥 (D), 株高为适中性指标, 不是越高越好, 故最优因素水平为 $A_3B_1C_1D_1E_4$; 对茎粗影响的大小排序为: 品种 (E) > 钾肥 (D) > 磷肥 (C) > 氮肥 (B) > 密度 (A), 最优因素水平为 $A_4B_2C_3D_2E_2$; 对有效分枝影响的大小排序为: 品种 (E) > 磷肥 (C) > 钾肥 (D) > 密

度 (A) > 氮肥 (B), 最优因素水平为 $A_2B_2C_3D_4E_2$; 对果球着粒数影响大小的排序为: 品种 (E) > 密度 (A) > 磷肥 (C) > 氮肥 (B) > 钾肥 (D), 最优因素水平为 $A_2B_2C_4D_2E_4$; 对百粒重影响大小的排序为: 品种 (E) > 钾肥 (D) > 氮肥 (B) > 磷肥 (C) > 密度 (A), 最优组合为 $A_2B_4C_4D_2E_1$ 。

2.2.2 植株农艺性状的方差分析

极差分析方法简单明了, 能够找到试验的主导因素, 同时发现各种因素的最佳组合, 但不能分析出不同因素对指标影响的大小及显著程度。故对各指标进一步进行方差分析, 结果 (表 4) 表明, 对于株高, B 与 D 的 P 值大于 0.05, 即氮肥及钾肥的施用量对株高影响不显著; C 的 P 值小于 0.05, A、E 的 P 值小于 0.01, 说明磷肥对株高影响显著, 密度及品种对株高影响极显著。氮肥、磷肥对茎粗影响显著 ($P < 0.05$), 钾肥及品种对茎粗影响极显著 ($P < 0.01$)。密度、氮肥、磷肥、钾肥及品种对有效分枝影响极显著 ($P < 0.01$)。氮肥对果球着粒数影响显著 ($P < 0.05$), 密度、磷肥及品种对果球着粒数影响极显著 ($P < 0.01$); 密度对百粒重影响显著 ($P < 0.05$), 氮肥、磷肥、钾肥及品种对百粒重影响极显著 ($P < 0.01$)。

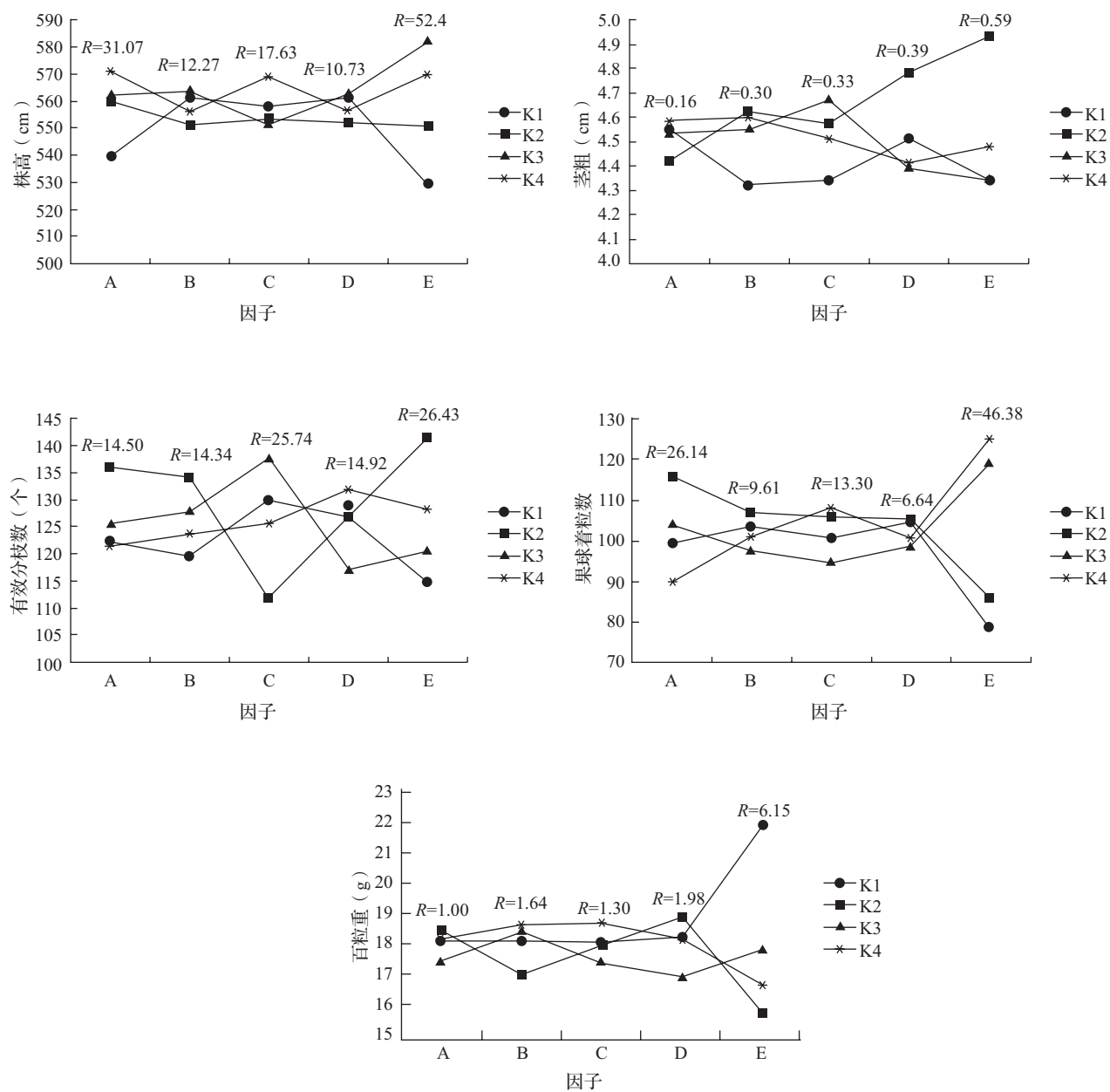


图1 植株农艺性状的极差分析

注: K1、K2、K3、K4 分别为水平 1、水平 2、水平 3、水平 4 的结果之和。下同。

表 4 植株农艺性状的方差分析

指标	变异来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值
株高	A	385.48	3	128.49	8.49	0.00
	B	66.67	3	22.22	1.47	0.24
	C	139.20	3	46.40	3.07	0.04
	D	54.81	3	18.27	1.21	0.32
	E	1178.85	3	392.95	25.96	0.00
	误差	484.35	32	15.14		

续表

指标	变异来源	平方和	自由度	均方	<i>F</i> 值	<i>P</i> 值
茎粗	A	0.01	3	0.00	0.91	0.45
	B	0.04	3	0.01	3.51	0.03
	C	0.04	3	0.01	3.49	0.03
	D	0.07	3	0.02	6.00	0.00
	E	0.18	3	0.06	14.69	0.00
	误差	0.13	32	0.00		
有效分枝数	A	101.30	3	33.77	6.51	0.00
	B	84.29	3	28.10	5.42	0.00
	C	262.10	3	87.37	16.84	0.00
	D	94.77	3	31.59	6.09	0.00
	E	295.71	3	98.57	19.00	0.00
	误差	165.98	32	5.19		
果球着粒数	A	263.89	3	87.96	22.14	0.00
	B	37.03	3	12.34	3.11	0.04
	C	79.19	3	26.40	6.65	0.00
	D	21.38	3	7.13	1.79	0.17
	E	1215.59	3	405.20	102.01	0.00
	误差	127.11	32	3.97		
百粒重	A	0.41	3	0.14	3.79	0.02
	B	1.20	3	0.40	11.06	0.00
	C	0.63	3	0.21	5.86	0.00
	D	1.54	3	0.51	14.26	0.00
	E	16.49	3	5.50	152.39	0.00
	误差	1.15	32	0.04		

2.3 不同处理对产量性状的影响

2.3.1 产量性状的极差分析

从图 2 极差分析的结果发现,对单株种子产量影响最大的为密度(A),其次是磷肥(C)和钾肥(D),最优组合为 A₂B₄C₃D₄E₃;对单株花瓣产量影响最大的是品种(E),其次是密度(A)和氮肥(B),最优组合为 A₃B₁C₁D₄E₃;对小区种子产量影响最大的为密度(A),其次是磷肥(C)和钾肥(D),最优组合为 A₃B₄C₃D₄E₃;对小区花瓣产量影响最大的为密度(A),其次是钾肥(D)和氮肥

(B),最优组合为 A₃B₁C₁D₄E₃。

2.3.2 产量性状的方差分析

由表 5 可知,C 因素在单株花瓣产量及小区花瓣产量中 *P* 值均大于 0.05,在其余性状中 *P* 值均小于 0.01,说明磷肥对单株花瓣产量及小区花瓣产量影响不显著,对单株种子产量、小区种子产量的影响极显著;A 因素、B 因素、D 因素与 E 因素在所有性状中 *P* 值均小于 0.01,说明密度、氮肥、钾肥及品种对单株种子产量、单株花瓣产量、小区种子产量、小区花瓣产量影响极显著。

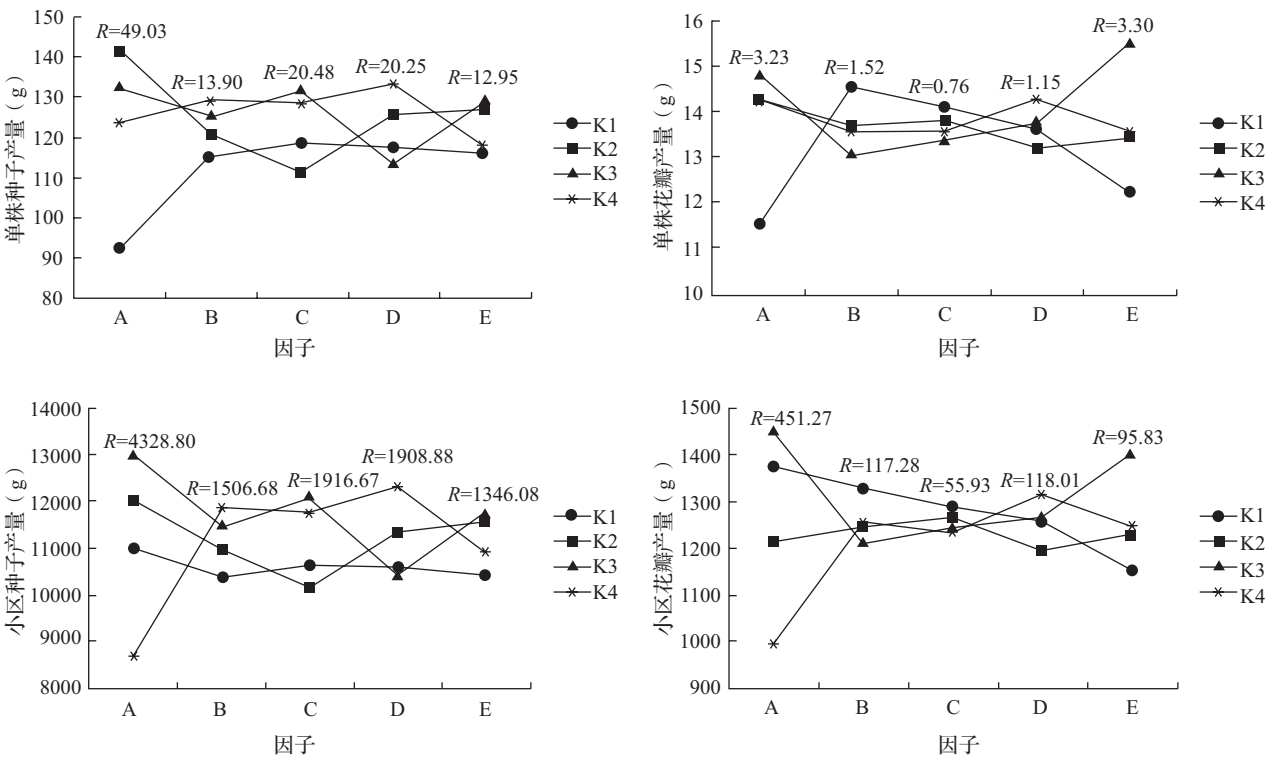


图 2 产量性状的极差分析

表 5 产量性状的方差分析

因素	变异来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值
单株种子产量	A	1022.12	3	340.71	163.41	0.00
	B	79.90	3	26.63	12.77	0.00
	C	198.13	3	66.04	31.68	0.00
	D	179.45	3	59.82	28.69	0.00
	E	94.69	3	31.56	15.14	0.00
	误差	66.72	32	2.09		
单株花瓣产量	A	5.36	3	1.79	82.94	0.00
	B	0.94	3	0.31	14.51	0.00
	C	0.18	3	0.06	2.79	0.06
	D	0.40	3	0.13	6.17	0.00
	E	4.18	3	1.39	64.72	0.00
	误差	0.69	32	0.02		
小区种子产量	A	7794023.57	3	2598007.86	131.78	0.00
	B	957937.15	3	319312.38	16.20	0.00
	C	1863509.05	3	621169.68	31.51	0.00
	D	1723816.10	3	574605.37	29.15	0.00
	E	860766.88	3	286922.29	14.55	0.00
	误差	630854.78	32	19714.21		

续表

因素	变异来源	平方和	自由度	均方	<i>F</i> 值	<i>P</i> 值
小区花瓣产量	A	81859.65	3	27286.55	148.30	0.00
	B	4954.61	3	1651.54	8.98	0.00
	C	786.40	3	262.13	1.42	0.25
	D	4756.75	3	1585.58	8.62	0.00
	E	31768.12	3	10589.37	57.55	0.00
	误差	5887.76	32	183.99		

2.4 不同处理对品质性状的影响

2.4.1 品质性状的极差分析

从图 3 极差分析的结果发现，对羟基红花黄色素 A 影响最大的为氮肥（B），其次是磷肥（C）和品种（E），最优组合为 A₄B₄C₃D₂E₂；对含油量影响最大的为品种（E），其次是磷肥（C）和钾肥（D），最优组合为 A₂B₂C₁D₄E₄。

2.4.2 品质性状的方差分析

从表 6 可知，A 因素、B 因素、C 因素及 E 因素在羟基红花黄色素 A 中 *P* 值小于 0.01，说明密度、氮肥、磷肥及品种对羟基红花黄色素 A 的影响极显著；D 因素在羟基红花黄色素 A 中 *P* 值大于 0.05，说明钾肥对羟基红花黄色素 A 的影响不显著。D 因素及 E 因素在含油量中 *P* 值小于 0.01，说

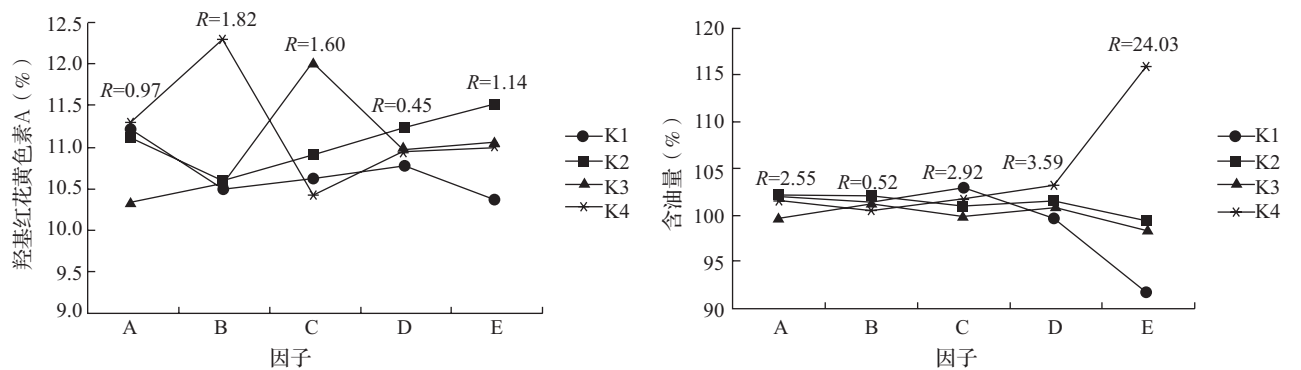


图 3 品质性状的极差分析

表 6 品质性状的方差分析

因素	变异来源	平方和	自由度	均方	<i>F</i> 值	<i>P</i> 值
羟基红花黄色素 A	A	0.45	3	0.15	5.41	0.00
	B	1.75	3	0.58	21.06	0.00
	C	1.15	3	0.38	13.85	0.00
	D	0.08	3	0.03	0.90	0.45
	E	0.49	3	0.16	5.92	0.00
	误差	0.87	32	0.03		
含油量	A	2.86	3	0.95	3.72	0.02
	B	0.69	3	0.23	0.89	0.46
	C	3.34	3	1.11	4.35	0.01
	D	4.90	3	1.63	6.37	0.00
	E	234.74	3	78.25	305.18	0.00
	误差	8.20	32	0.26		

明钾肥及品种对含油量的影响极显著; A 因素及 C 因素在含油量中 P 值小于 0.05, 说明密度及磷肥对含油量的影响显著; 氮肥对含油量的影响不显著。

2.5 各因素水平的综合平衡分析

不同指标对应不同的最优组合, 因此采用综合平衡分析法对各因素的不同水平进行分析^[19], 分析结果见表 7。A 因素密度对株高、有效分枝、果球着粒数、百粒重、单株种子产量、单株花瓣产量、小区种子产量、小区花瓣产量、羟基红花黄色素 A 及含油量影响显著, 综合平衡分析结果 K 值为 K2, 因此选 A2; B 因素氮肥量对茎粗、有效分枝、果球着粒数、百粒重、单株种子产量、单株花瓣产

量、小区种子产量、小区花瓣产量及羟基红花黄色素 A 含量影响显著, 综合平衡分析结果 K 值为 K2 或 K4, 若主要考虑产量性状及品质则选 B4; C 因素磷肥量对株高、茎粗、有效分枝、果球着粒数、百粒重、单株种子产量、小区种子产量、羟基红花黄色素 A 及含油量影响显著, 综合平衡分析结果 K 值为 K3, 因此选 C3; D 因素钾肥量对茎粗、有效分枝、百粒重、单株种子产量、单株花瓣产量、小区种子产量、小区花瓣产量、羟基红花黄色素 A 及含油量影响显著, 综合平衡分析结果 K 值为 K4, 因此选 D4; E 因素品种对所有指标影响显著, 综合平衡分析结果 K 值为 K3, 因此选 E3。

表 7 各因素水平综合平衡法分析结果

因素	株高	茎粗	有效分枝	果球着粒数	百粒重	单株种子产量	单株花瓣产量	小区种子产量	小区花瓣产量	羟基红花黄色素 A	含油量	K 值
A 密度	K4	K4	K2	K2	K2	K2	K3	K3	K3	K4	K2	K2
B 氮肥量	K3	K2	K2	K2	K4	K4	K1	K4	K1	K4	K2	K2 K4
C 磷肥量	K4	K3	K3	K4	K4	K3	K1	K3	K1	K3	K1	K3
D 钾肥量	K3	K2	K4	K2	K2	K4	K4	K4	K4	K2	K4	K4
E 品种	K3	K2	K2	K4	K1	K3	K3	K3	K3	K2	K4	K3

注: K 值为某一水平下, 对应指标的试验结果之和。

3 讨论

3.1 种植密度与施肥量对红花植株形态的影响

不同种植密度、施氮量、施磷量及施钾量对作物的植株形态都有一定的调节作用。田效琴等^[20]研究表明, 油菜株高随着密度的增大而降低, 随着施氮量的增加先升高后降低, 而茎粗、有效分枝数、有效角果数等随着密度及施氮量的增加均显著增大。郭秀娟等^[21]对不同密度及肥料配施对胡麻植株性状进行研究, 结果表明在施用肥料的条件下, 分茎数、单株有效蒴果数随密度的增加先降后升再降; 株高随密度的增加先降后升; 工艺长度和主茎分枝数随密度的增加而下降。本研究中株高、茎粗、有效分枝及果球着粒数在不同密度及施肥条件下都有不同, 而性状不同, 影响因素的主次也不同, 如株高和茎粗, 因素的主次顺序为品种 > 密度 > 磷肥 > 氮肥 > 钾肥; 而对于茎粗主次顺序为品种 > 钾肥 > 磷肥 > 氮肥 > 密度。在 5 个因素中品种及密度对各性状的影响极显著, 磷肥对各性状的影响显著, 这与肖庆生等^[22]对油菜的研究结

果不一致, 主要原因可能是由于不同试验田块的土壤有效养分的状况不同导致的。红花株高随密度的增大呈上升的趋势, 随施肥量的增加大体表现出先降后升的趋势, 这种变化规律在小豆^[23]、玉米^[24]等作物上也有体现; 其余因素变化无明显规律性。

3.2 种植密度与施肥量对红花产量的影响

研究表明种植密度及施肥量与作物的产量性状密切相关^[21]。在本研究中, 红花产量性状因品种、栽培密度及肥料用量的不同呈现出不同的差异性, 各因素对百粒重的影响表现为品种 > 钾肥 > 氮肥 > 磷肥 > 密度, 对单株种子产量及小区种子产量的影响表现为密度 > 磷肥 > 钾肥 > 氮肥 > 品种, 对单株花瓣产量影响表现为品种 > 密度 > 氮肥 > 钾肥 > 磷肥, 对小区花瓣产量的影响表现为密度 > 钾肥 > 氮肥 > 品种 > 磷肥。随着栽培密度的增大, 百粒重、单株种子产量、单株花瓣产量、小区种子产量及小区花瓣产量总体呈现出先增大后降低的趋势, 这与王秀珍等^[25]对新疆塔城区红花的研究结果一致。这可能是由于密度过大, 单株营养面积变少, 同时田间通透性不好, 作物生长受影响, 导致产量降低^[26]。

氮肥及钾肥对产量性状的影响极显著, 磷肥对百粒重及种子产量的影响极显著, 对花瓣产量的影响不显著。产量性状在不同施肥水平间无明显规律, 可能与参试品种不一致, 受到遗传因素的影响有关, 这与前人对小麦的研究结果类似^[27]。

3.3 种植密度与施肥量对红花品质的影响

植物品质性状会受到植物本身特性、外界环境条件、不同栽培方式等因素的多方面影响。据报道, 氮磷钾肥配施能够增加茶树树势, 增加茶叶产量并改善其品质, 尤其是氮肥对品质的影响效果最大^[28]。本研究中, 钾肥对羟基红花黄色素 A 的影响不显著, 其余因素均达显著水平, 其中氮肥及磷肥对其影响最大; 氮肥对含油量的影响不显著, 其余因素均达到显著水平, 其中, 钾肥及品种对其影响最大。

4 结论

结合因素不同水平的综合平衡分析比较, 在云南采用 12.5 万株/hm² 的种植密度 (40 cm × 20 cm)、375 kg/hm² 的施氮量、225 kg/hm² 的施磷量、240 kg/hm² 的施钾量以及选用品种云红三号, 可以获得高产。但不同地域、土壤及气候条件, 对应的栽培方式有所差异, 因此一定要因地制宜, 通过相关研究集成与当地红花产业发展相适应的配套栽培技术。

参考文献:

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典. 一部 [S]. 北京: 中国医药科技出版社, 2015: 151.
- [2] 任超翔, 吴沂芸, 唐小慧, 等. 红花的起源与产地变迁 [J]. 中国中药杂志, 2017, 42 (11): 2219-2222.
- [3] Nogales-Delgado S, Encinar JM, Cortés LG. High oleic safflower oil as a feedstock for stable biodiesel and biolubricant production [J]. Industrial Crops and Products, 2021, 170: 113701.
- [4] 黎大爵. 世界红花种质资源的生物多样性及可持续利用 [C]. 第三届生物多样性保护与利用高新科学技术国际研讨会论文集, 2003: 22-24.
- [5] 刘旭云, 严兴初, 杨谨, 等. 红花种质资源的保护与利用 [M]. 云南: 云南科技出版社, 2017.
- [6] 王兆木. 红花 [M]. 北京: 中国中医药出版社, 2001: 148-180.
- [7] 王沛琦, 胡尊红, 杨谨, 等. 药用型红花苗期抗旱性评价 [J]. 中国现代中药, 2021, 23 (4): 660-665.
- [8] Canfield DE, Glazer AN, Falkowski PG. The evolution and future of earth's nitrogen cycle [J]. Science, 2010, 330: 192-196.
- [9] 郭丽芬, 张跃, 徐宁生, 等. 红花种质资源主要数量性状的灰色关联度分析 [J]. 西南农业学报, 2013, 26 (1): 328-333.
- [10] 王沛琦, 胡学礼, 李雪蓉, 等. 红花种质资源表型多样性分析 [J]. 热带作物学报, 2019, 40 (6): 1102-1107.
- [11] 许兰杰, 梁慧珍, 余永亮, 等. 河南红花种质资源表型性状的综合评价 [J]. 河南农业科学, 2017, 46 (10): 26-31.
- [12] 唐小慧, 任超翔, 陈江, 等. 利用 SSR 分子标记分析我国红花主要栽培品种遗传多样性 [J]. 中药材, 2017, 40 (12): 2800-2804.
- [13] 周慧君, 彭云承, 程小波, 等. 伊犁河谷红花品种密度播期试验研究 [J]. 现代农业科技, 2015 (10): 75-76.
- [14] 刘超, 王林, 赵小磊, 等. 不同种植密度对红花产量和品质的影响 [J]. 河南中医学院学报, 2006 (4): 17-18.
- [15] 李彬瑞, 温晓亮, 靳存旺, 等. 河套灌区红花适宜播种期和密度的研究 [J]. 北方农业学报, 2018, 46 (6): 22-26.
- [16] 杨建国, 刘旭云, 严兴初, 等. 红花种质资源描述规范和数据标准 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2007.
- [17] 代梦媛, 崔长胜, 高梅, 等. 蓖麻种子含油量及脂肪酸成分与种子表型相关性分析 [J]. 西南农业学报, 2019, 32 (1): 55-62.
- [18] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典: 一部 [M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2020: 157.
- [19] 刘艳, 宫亮, 邢月华, 等. 基于正交设计的玉米有机无机肥模式优化研究 [J]. 作物杂志, 2021 (1): 168-174.
- [20] 田效琴, 李卓, 刘永红. 密度和施氮量对油菜生长发育及产量的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2018 (3): 26-35.
- [21] 郭秀娟, 冯学金, 杨建春, 等. 不同种植密度和肥料配施对胡麻植株性状和经济产量的效应 [J]. 作物杂志, 2017 (2): 135-138.
- [22] 肖庆生, 夏志涛, 周灿金, 等. 氮磷钾肥对迟直播油菜产量和品质的影响 [J]. 中国油料作物学报, 2010, 32 (2): 263-269.
- [23] 刘振兴, 周桂梅, 亚秀秀, 等. 不同种植密度对 3 个小豆品种植株形态及产量的影响 [J]. 作物杂志, 2020 (6): 137-142.
- [24] 李洪梅, 王西芝, 蒋明洋, 等. 不同种植密度对夏玉米农艺性状及产量的影响 [J]. 山东农业科学, 2015, 47 (7): 59-61.
- [25] 王秀珍, 周相军, 王丽. 不同种植密度对红花产量及农艺性状的影响 [J]. 新疆农业科学, 2010, 47 (8): 1557-1560.
- [26] 王晖, 李丽淑, 何新民, 等. 不同栽培密度及施肥量对京薯 6 号产量的影响 [J]. 南方农业学报, 2013, 44 (10): 1677-1680.
- [27] 宋明丹, 李正鹏, 冯浩. 不同水氮水平冬小麦干物质积累特征及产量效应 [J]. 农业工程学报, 2016, 32 (2): 119-126.
- [28] 罗凡, 张厅, 龚雪蛟, 等. 不同施肥方式对茶树新梢氮磷钾含量及光合生理的影响 [J]. 应用生态学报, 2014, 25 (12): 3499-3506.

Effects of densities, fertilizer rate and varieties on agronomic traits and qualities of safflower (*Carthamus tinctorius* L.)

WANG Pei-qi, HU Zun-hong, LIU Xu-yun, HU Xue-li*, YANG Jin* (Industrial Crop Research Institute, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming Yunnan 650205)

Abstract: In order to obtain high yield of safflower, an orthogonal experiment design of $L_{16}(4^5)$ was used to study the effects of different density, nitrogen, phosphorus and potassium fertilizer amount and varieties on the agronomic traits, yield and quality of safflower. The results showed that the density had no significant effect on stem diameter, but had significant effect on 100-seed weight and oil content, and had extremely significant effect on other characters. The effect of nitrogen fertilizer on plant height and oil content was not significant, but on stem diameter and seed number of fruit was significant, and on other characters was extremely significant. The effect of phosphate fertilizer on petal yield of single plant and plot was not significant, but on plant height, stem diameter and oil content was significant, and on other characters was extremely significant. The effect of potassium fertilizer on plant height, grain number and hydroxysafflor yellow A was not significant, but on other characters was extremely significant. The effect of varieties on all characters was extremely significant. Through analysis and comparison of different levels of factors, the technical model with the planting density of 12.5×10^4 plants/hm² (40 cm × 20 cm), the application of 375 kg/hm² of nitrogen, 225 kg/hm² of phosphorus, 240 kg/hm² of potassium and selected variety Yunhong No.3 could reach the best effect of increasing yield and efficiency in the main safflower area of Yunnan.

Key words: safflower; density; fertilizer; varieties; yield; quality