

花香 A 系列杂交水稻组合产量及米质性状相关及通径分析

王平¹ 白玉路¹ 王闰霞¹ 蒲志刚¹ 张志勇¹ 向跃武² 李璐² 方春燕³ 张志雄^{1*}

(¹ 四川省农业科学院生物技术核技术研究所, 成都 610061; ² 四川省农业科学院, 成都 610066; ³ 蓬溪县农业局, 四川 蓬溪 629100; * 通讯作者: zhangzhx1010@163.com)

摘 要: 对 10 个花香 A 杂交组合参加水稻区域试验的产量和品质数据进行相关分析和通径分析。结果表明, 产量性状中日产量与有效穗数、株高与穗长、总粒数与实粒数均成极显著正相关, 日产量对产量的贡献最大(0.7205), 其次为有效穗数; 米质性状中整精米率与垩白粒率、长宽比与垩白粒率、垩白度呈显著负相关。提出了以花香 A 为亲本在配制杂交组合时, 应主要通过提高其日产量、有效穗数, 并适当延长其生育期、降低其株高与穗长来提升产量; 同时, 适度降低籽粒长宽比, 从而提高灌浆效率, 降低垩白粒率、垩白度, 进而提高整精米率, 提升稻米品质。

关键词: 水稻; 花香 A; 产量; 米质; 相关分析; 通径分析

中图分类号: S511 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8082(2017)01-0081-05

花香 A 是四川省农业科学院生物技术核技术研究所通过航天诱变技术与分子标记辅助技术相结合选育的, 具有红褐色标记性状的中籼迟熟类不育系, 于 2007 年通过四川省农作物品种审定委员会组织的专家技术鉴定^[1]。花香 A 穗子大、千粒重高、米质优、农艺性状稳定、败育性彻底、可恢性好、香味浓, 配组组合具有高产、优质、适应性广和味香的特点^[2-3]。目前以花香 A 为母本已配制出 7 个杂交水稻新品种, 并 12 次通过省级审(认)定, 其中, 具国标 2 级优质米 2 个、国标 3 级优质米 4 个。优质与高产相结合是水稻育种的主要目标之一^[4-5], 多年来, 育种工作者通过多种方法来研究产量、米质与各因素间的相互关系, 明确这些因素对产量、米质的影响, 以确定选择目标^[6-10]。杂交水稻的产量与有效穗数、穗实粒数、结实率、千粒重等性状之间存在着复杂的相关性, 而米质主要限制因素在于垩白粒率、垩白度、整精米率以及直链淀粉含量等^[6-18]。笔者拟通过对花香 A 配制的杂交水稻组合在各省区域试验中的产量与米质数据进行相关和通径分析, 以期揭示不同因素对杂交水稻产量、米质影响的大小, 提高花香 A 进一步配制优质、高产杂交组合的方向性和目的性, 为选育优质与高产紧密结合的杂交水稻新品种提供理论依据。

1 数据来源与分析方法

1.1 数据来源

数据来源于以花香 A 为母本配制的 10 个杂交组合(表 1)在四川、云南、重庆等地参加水稻区域试验的

汇总数据。

1.2 分析方法

对不育系花香 A 配制的杂交组合在参加四川、云南、重庆区域试验中的株高、生育期、有效穗数、穗长、总粒数、实粒数、结实率、千粒重、单产、日产量、出糙率、整精米率、粒长、长宽比、垩白粒率、垩白度、胶稠度、直链淀粉含量等 18 个性状进行相关分析、通径分析、主成分分析及多元线性逐步回归分析。采用 Microsoft Excel 2003 以及 DPS 软件进行数据统计。

2 结果与分析

2.1 主要经济性状与米质性状

2.1.1 经济性状

由表 2 可知, 花香 A 配制的杂交组合的日产量平均为 3.86 kg/667 m², 变幅 3.26~4.49 kg/667 m²; 有效穗数平均为 15.4 万/667 m², 变幅 12.9~18.9 万/667 m²; 株高平均为 117.6 cm, 变幅 107.8~126.3 cm; 生育期平均为 154.1 d, 变幅 146.1~159.6 d; 穗长平均为 26.2 cm, 变幅 24.8~27.4 cm; 每穗总粒数平均为 170.4 粒, 变幅 149.3~181.6 粒; 每穗实粒数平均为 134.1 粒, 变幅 121.6~142.9 粒; 结实率平均为 78.0%, 变幅 70.6%~84.2%; 千粒重平均为 30.9 g, 变幅 28.3~32.9 g。经济性

收稿日期: 2016-09-04

基金项目: 四川省财政创新能力提升工程专项(2016ZYPZ01-001); 四川省财政育种攻关项目; “十三五”国家重点研发计划专项

表 1 花香 A 系列组合各经济性状、米质性状统计结果

组合名称	参试年份	参试区域	平均单产 (kg/667m ²)	日产量 (kg)	有效穗数 (万/667m ²)	株高 (cm)	全生育期 (d)	穗长 (cm)	每穗总粒数 (粒)	每穗实粒数 (粒)
花香优 1 号	2008-2009	四川	552.20	3.65	15.0	117.9	151.2	26.9	164.5	131.1
花香 A/R7996	2015	四川	598.81	4.03	13.8	126.3	148.6	27.4	181.6	141.7
花香 A/H517-11	2011	四川	515.98	3.49	13.9	119.0	147.8	27.1	176.0	124.3
花香 A/R1517	2012	四川	520.52	3.56	14.4	118.6	146.1	25.8	149.3	121.6
花优 230	2011-2012	云南	666.40	4.20	16.8	116.3	158.5	25.3	177.2	140.1
花优 926	2011-2012	云南	660.45	4.18	18.9	112.9	158.0	25.8	157.7	123.7
花优 528	2013-2014	云南	690.70	4.36	16.7	107.8	158.5	25.4	181.1	142.9
花香优 4016	2009-2010	重庆	584.73	3.66	14.4	120.8	159.6	26.8	169.7	142.9
花香 7 号	2005-2006	重庆	568.82	3.77	14.4	117.5	150.7	27.0	174.8	139.3
花香 7 号	2008-2009	四川	558.23	3.58	13.9	120.5	155.8	26.5	167.4	139.1
花香 7 号	2010-2011	云南	700.00	4.49	17.4	113.0	156.0	25.1	164.2	129.8
花香优 1618	2009-2010	四川	499.75	3.26	12.9	124.3	153.5	26.5	172.2	132.4
花香优 1618	2012-2013	云南	638.80	4.01	18.1	113.7	159.5	24.8	178.9	134.9

组合名称	结实率 (%)	千粒重 (g)	出糙率 (%)	整精米率 (%)	粒长 (mm)	长宽比	垩白粒率 (%)	垩白度 (%)	胶稠度 (mm)	直链淀粉含量 (%)
花香优 1 号	79.7	31.1	78.6	59.4	7.4	2.9	16	2.8	64.0	15.2
花香 A/R7996	77.0	30.7	79.7	40.6	7.3	3.0	18	3.8	82.0	16.6
花香 A/H517-11	70.6	31.5	80.0	57.5	7.4	2.8	42	9.2	80.0	14.1
花香 A/R1517	71.3	32.0	80.2	60.8	7.3	3.0	21	2.3	86.0	13.2
花优 230	79.1	31.6	81.1	69.6	7.2	3.0	15	1.8	82.0	16.6
花优 926	78.4	32.9	81.0	68.3	7.3	2.9	19	2.1	79.0	16.4
花优 528	78.9	30.5	80.0	35.4	6.9	2.9	51	6.6	88.0	17.6
花香优 4016	84.2	30.3	80.3	46.6	7.2	2.8	44	11.4	73.0	20.5
花香 7 号	79.7	30.7	80.4	56.2	7.2	2.8	44	10.1	75.0	15.7
花香 7 号	83.7	28.3	81.6	56.5	6.8	3.2	20	5.5	78.0	13.2
花香 7 号	79.0	31.9	81.7	65.5	7.3	2.9	23	3.4	83.0	16.6
花香优 1618	76.9	29.7	79.1	55.7	7.4	2.9	24	5.0	82.0	15.6
花香优 1618	75.4	30.5	81.6	65.2	7.4	3.0	24	3.8	88.0	15.4

状变异系数最大的是有效穗数(12.36%),然后依次为日产量(9.66%)、每穗实粒数(5.66%)、每穗总粒数(5.62%)、结实率(5.08%)等。变异系数越大,育种者在育种过程中获得理想性状的机会就越多。因此,不育系花香 A 组合配制应首先关注有效穗数的提高,其次为日产量的增加来实现高产。同时,根据其千粒重、穗长、生育期等性状的平均值及变异系数可以看出,花香系列组合千粒重高、穗子长、每穗粒数多,且株高、生育期适中。

2.1.2 米质性状

由表 2 可知,花香 A 配制的杂交组合的出糙率平均为 80.4%,变幅 78.6%~81.7%;整精米率平均为 56.7%,变幅 35.4%~69.6%;粒长平均为 7.2 mm,变幅 6.8~7.4 mm;长宽比平均为 2.9,变幅 2.8~3.2;垩白粒率平均为 28%,变幅 15%~51%;垩白度平均为 5.2%,变幅 1.8%~11.4%;胶稠度平均为 80 mm,变幅 64~88 mm;直链淀粉含量平均为 15.9%,变幅 13.2%~20.5%。米质性状中变异系数最大的是垩白度(61.40%),然后

依次为垩白粒率(45.32%)、整精米率(18.29%)、直链淀粉含量(12.11%)、胶稠度(8.23%)等。因此,不育系花香 A 组合配制在米质性状中应首先关注垩白度、垩白粒率,其次为整精米率的增加来提高米质。同时,根据其各米质性状的平均值及变异系数可以看出,花香系列组合籽粒细长,出糙率及胶稠度高,垩白粒率、垩白度及直链淀粉含量较低。

2.2 产量、米质性状的相关分析

2.2.1 经济性状因子与产量的相关分析

通过计算 9 个经济性状与各组合产量的相关系数,获得相关系数矩阵,如表 3 所示。

与产量呈极显著正相关的性状有日产量(0.97**)、有效穗数(0.83**)、生育期(0.65**);呈显著或极显著负相关的性状有株高(-0.52*)、穗长(-0.65**)。

性状之间呈显著或极显著正相关的有:日产量与有效穗数(0.78**)、有效穗数与生育期(0.58*)、株高与穗长(0.70**)、每穗总粒数与每穗实粒数(0.71**)、每穗实粒数与结实率(0.57*)、生育期与结实率(0.51*)。性状之

表 2 花香 A 系列组合各经济性状、米质性状的平均值、标准差及变异系数性状

性状	变幅	平均值	标准差	变异系数(%)
平均单产(kg/667 m ²)	499.75~700.00	596.57	68.50	11.48
日产量(kg/667 m ²)	3.26~4.49	3.86	0.37	9.66
有效穗数(万/667 m ²)	12.9~18.9	15.4	1.9	12.36
株高(cm)	107.8~126.3	117.6	5.0	4.24
全生育期(d)	146.1~159.6	154.1	4.8	3.10
穗长(cm)	24.8~27.4	26.2	0.9	3.28
每穗总粒数(粒)	149.3~181.6	170.4	9.6	5.62
每穗实粒数(粒)	121.6~142.9	134.1	7.6	5.66
结实率(%)	70.6~84.2	78.0	4.0	5.08
千粒重(g)	28.3~32.9	30.9	1.2	3.75
出糙率(%)	78.6~81.7	80.4	1.0	1.20
整精米率(%)	35.4~69.6	56.7	10.4	18.29
粒长(mm)	6.8~7.4	7.2	0.2	2.62
长宽比	2.8~3.2	2.9	0.1	3.79
垩白粒率(%)	15~51	28	13	45.32
垩白度(%)	1.8~11.4	5.2	3.2	61.40
胶稠度(mm)	64~88	80	7	8.23
直链淀粉含量(%)	13.2~20.5	15.9	1.9	12.11

表 3 花香 A 系列组合经济性状和产量之间的相关系数

相关系数	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	Y
X ₁	0.78**	-0.44	0.44	-0.56*	0.11	0.18	0.20	0.42	0.97**
X ₂		-0.54*	0.58*	-0.73**	-0.13	-0.18	0.07	0.47	0.83**
X ₃			-0.52*	0.70**	-0.23	-0.07	0.16	-0.18	-0.52*
X ₄				-0.61*	0.29	0.45	0.51*	-0.18	0.65**
X ₅					0	0.06	0.13	-0.21	-0.65**
X ₆						0.71**	-0.02	-0.38	0.17
X ₇							0.57*	-0.55*	0.27
X ₈								-0.38	0.30
X ₉									0.32

*,** 分别表示在 5%和 1%水平显著;X₁=日产量(kg),X₂=有效穗数(万/667 m²),X₃=株高(cm),X₄=生育期(d),X₅=穗长(cm),X₆=每穗总粒数(粒),X₇=每穗实粒数(粒),X₈=结实率(%),X₉=千粒重(g)。

间呈显著或极显著负相关的有：有效穗数与株高(-0.54*)、株高与与生育期(-0.52*)、日产量与穗长(-0.56*)、有效穗数与穗长(-0.73**)、生育期与穗长(-0.61*)、每穗实粒数与千粒重(-0.55*)。

从经济性状因子与产量的相关分析可以看出,花香 A 系列杂交组合产量的提升主要是通过提高其日产量、有效穗数,并适当延长其生育期、降低其株高与穗长来实现。同时,日产量与有效穗数呈极显著正相关,说明增加有效穗数可以提高日产量,进而提高产量;每穗总粒数与每穗实粒数呈极显著正相关,说明花香 A 系列组合在籽粒灌浆效率高,充分解决了大穗型组合结实率低的问题。

2.2.2 米质性状之间的相关分析

通过计算 8 个米质性状之间的相关系数,获得相关系数矩阵(表 4)。由表 4 可以看出,花香 A 系列组合的整精米率与垩白粒率、长宽比与垩白粒率、长宽比与

垩白度呈显著负相关关系,而垩白粒率与垩白度呈极显著正相关关系;其余性状之间相关性不显著。因此,在利用不育系花香 A 配制杂交组合时应适度降低籽粒长宽比,从而提高灌浆效率,降低垩白粒率与垩白度,进而提高整精米率。

2.3 产量构成因素的通径分析

对花香 A 系列组合 6 个产量构成因素进行通径分析。从表 5 可以看出,日产量对产量的直接贡献最大(0.7205),其次是有效穗数(0.2975);同时,有效穗数通过日产量对产量有较大的正向作用(0.5721)。说明利用花香 A 选择分蘖力强的组合,从而提高群体有效穗数,促进群体日产量的提高是切实可行的。由表 5 还可以看出,这个通径系统的决定系数为 0.98910,剩余通径系数为 0.10441,说明这 6 个因素所决定的产量变异占产量总变异的 98.91%。

2.4 经济性状主成分分析

表 4 花香 A 系列组合米质性状之间的相关系数

相关系数	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈
X ₁	0.44	-0.33	0.39	-0.11	-0.12	0.43	-0.04
X ₂		0.40	0.13	-0.57*	-0.49	-0.05	-0.38
X ₃			-0.46	-0.28	-0.20	-0.12	-0.04
X ₄				-0.62*	-0.55*	0.27	-0.49
X ₅					0.86**	0.07	0.39
X ₆						-0.24	0.35
X ₇							-0.11

*, ** 分别表示在 5% 和 1% 水平显著; X₁=出糙率(%), X₂=整精米率(%), X₃=粒长(mm), X₄=长宽比, X₅=垩白粒率(%), X₆=垩白度(%), X₇=胶稠度(mm), X₈=直链淀粉含量(%).

表 5 花香 A 系列组合产量构成因素对产量通径分析

因子	直接	→X ₁	→X ₂	→X ₃	→X ₄	→X ₅	→X ₆
X ₁	0.7205		0.2363	0.0052	0.0139	0.0163	-0.0188
X ₂	0.2975	0.5721		-0.0022	-0.0090	0.0043	-0.0239
X ₃	0.0283	0.1321	-0.0231		0.0458	0.0096	0.0175
X ₄	0.0654	0.1527	-0.0411	0.0198		0.0627	0.0268
X ₅	0.0939	0.1251	0.0135	0.0029	0.0437		0.0206
X ₆	-0.0442	0.3066	0.1609	-0.0112	-0.0396	-0.0436	

决定系数=0.98910
剩余通径系数=0.10441

X₁=日产量(kg), X₂=有效穗数(万/667 m²), X₃=穗粒数(粒), X₄=穗实粒数(粒), X₅=结实率(%), X₆=千粒重(g)。

表 6 花香 A 系列组合经济性状主成分分析

特征根	λ1	λ2	λ3
特征值	2.6150	2.0228	0.9120
百分率(%)	43.58	33.71	15.20
累计百分率(%)	43.58	77.30	92.50
特征向量	L1	L2	L3
日产量(kg)	-0.1375	0.6594	0.0562
有效穗数(万/667 m ²)	-0.3047	0.5598	-0.0857
每穗总粒数(粒)	0.3908	0.2379	0.7078
每穗实粒数(粒)	0.5399	0.2976	0.0452
结实率(%)	0.3819	0.2741	-0.6900
千粒重(g)	-0.5461	0.1778	0.1024

对花香 A 系列组合 6 个经济性状进行主成分分析。由表 6 可以看出,只要 3 个主成分,累积贡献率就达到 92.50%。在表 6 中,第一主成分因子特征值为 2.6150,其贡献率为 43.58%,对应特征向量中,每穗实粒数分值较大,为 0.5399,其次为每穗总粒数和结实率。因其与水稻籽粒灌浆效率有关,故将此因子称为“灌浆效率因子”,而千粒重则表现为较高的负向量-0.5461,表明每穗实粒数过多,会影响水稻千粒重。

第二主成分因子的特征值为 2.0228,其贡献率为 33.71%,对应的日产量和有效穗数 2 个特征向量的分值较大,分别达 0.6594 和 0.5598,故称其为“穗数因子”。

第三主成分因子的特征值为 0.9120,其贡献率为 15.20%,对应的每穗总粒数特征向量的分值较大,达 0.7078,故称其为“粒数因子”,而结实率则表现为较高

的负向量-0.6900。表明每穗粒数过多,会影响水稻结实率。

2.5 多元逐步回归分析

利用各因子作为自变量,产量为因变量,进行多元逐步回归分析,得如下方程:

$$Y = -325.249 + 126.506X_1 + 10.965X_2 + 1.162X_4 + 1.381X_5$$

相关系数 R= 0.9941

式中,X₁为日产量,X₂为有效穗数,X₄为每穗总实粒数,X₅为结实率。

回归方程中的回归系数表明该因子对水稻产量的影响程度,而且这 4 个性状的偏回归系数均为正值,说明这 4 个性状对产量都是正效应。

3 结论与讨论

花香 A 是一个米质与产量紧密结合的水稻三系不

育系,利用花香 A 配制优质、广适性强的优势组合对提高杂交水稻产量与米质水平具有重要作用^[4]。通过对花香 A 系列组合水稻区域试验产量、米质性状的相关分析及通径分析发现,花香 A 系列组合配制在各地试验中有效穗数、日产量、垩白粒率、垩白度以及整精米率的变异系数较大;同时,其产量的提升主要是通过提高其日产量、有效穗数,并适当延长其生育期、降低株高与穗长来实现;其米质的改良主要通过适度降低籽粒长宽比,从而提高其灌浆效率,降低垩白粒率与垩白度,进而提高整精米率。

目前的研究结果表明,不同类型的杂交水稻组合的各产量构成因素对产量的贡献率不同,且主要经济性状间相互影响^[9-18]。适度提高有效穗数以及杂交组合群体灌浆效率,促进日产量的提高,是长江上游地区高温寡照环境下大穗大粒型杂交水稻增产的主要因素之一。同时,适度降低籽粒长宽比,将有助于提高稻米整精米率,降低垩白粒率和垩白度,从而提升稻米外观品质。

参考文献

- [1] 张志雄,张志勇,向跃武,等. 具橙红色颖壳标记性状的优质香稻不育系花香 A 的选育与利用[J]. 杂交水稻, 2009, 24(6): 15-16.
- [2] 蒲志刚,向跃武,张志勇,等. 杂交籼稻新组合花香 7 号[J]. 杂交水稻, 2007, 22(5): 85-86.
- [3] 白玉路,王平,王闵霞,等. 优质杂交水稻新组合花香优 1 号的选育与应用[J]. 杂交水稻, 2013, 28(2): 23-25.
- [4] 毛昌祥,万宜珍,马国辉,等. 中国杂交水稻发展现状分析[J]. 杂交水稻, 2006, 21(6): 1-5.
- [5] 何川. 四川省优质水稻新品种需求与现状 [J]. 四川农业科技, 2015(6): 67-68.
- [6] 陈庭木,王多明,方兆伟,等. 水稻超高产潜力鉴定重要农艺性状因子分析[J]. 安徽农业科学, 2013(16): 7 081-7 085.
- [7] 刘伟明. 中浙优 1 号产量性状与产量的相关回归及通径分析[J]. 中国农学通报, 2008(10): 232-235.
- [8] 曾宪平,何芳,吕建群. 四川 2001-2010 年审定水稻品种农艺与米质性状的典型相关分析[J]. 西南农业学报, 2011(5): 1 631 - 1 635.
- [9] 孔德伟,陈德全,周良强,等. 杂交水稻几个重要农艺及产量性状的主成分分析[J]. 中国农学通报, 2005(8): 117-119.
- [10] 刘书通,李春生,方福平,等. 长江中下游中籼杂交稻区试品种产量成因性状分析[J]. 中国农学通报, 2015(15): 7-11.
- [11] 李树杏,向关伦,杨占烈,等. 杂交水稻‘协优 385’主要产量构成因子与产量的相关分析和通径分析 [J]. 中国农学通报, 2015(18): 15-19.
- [12] 文绍山, 焦峻. 川谷 A 配组水稻组合的稻瘟病抗性和产量及产量构成因子通径分析[J]. 江西农业学报, 2014(7): 14-17.
- [13] 杨久,丁鲲,卢义宣,等. 云南籼粳交错区水稻农艺性状与产量相关及通径分析[J]. 西南农业学报, 2011(2): 391-395.
- [14] 曹应江,游书梅,蒋开锋,等. 香型杂交水稻产量构成要素杂种优势表现及通径分析[J]. 中国农学通报, 2011(7): 22-25.
- [15] 吕建群,曾宪平. 四川中籼中熟杂交水稻产量与主要经济性状的通径分析[J]. 中国农学通报, 2006(10): 184-186.
- [16] 李仕贵,黎汉云,周开达,等. 杂交水稻稻米外观品质性状的遗传相关分析[J]. 西南农业学报, 1996(S1): 1-7.
- [17] 杨从党,朱德峰,周玉萍,等. 不同生态条件下水稻产量及其构成因子分析[J]. 西南农业学报, 2004(S1): 35-39.
- [18] 曾宪平,何芳,吕建群,等. 四川省 2001-2010 年审定的杂交水稻中籼迟熟品种的农艺性状分析[J]. 西南师范大学学报: 自然科学版, 2012(4): 91-95.

Correlation and Path Analysis of Yield and Quality Traits of Rice Combinations from Huaxiang A

WANG Ping¹, BAI Yulu¹, WANG Minxia¹, PU Zhigang¹, ZHANG Zhiyong¹, XIANG Yuewu², LI Lu², FANG Chunyan³, ZHANG Zhixiong^{1*}

(¹ Institute of Biotechnology and Nuclear Technology, Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Chengdu 610066, China; ² Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Chengdu 610066, China; ³ Agricultural Bureau of Pengxi, Shichuan 629100, China; *Corresponding author: zhangzhx1010@163.com)

Abstract: By analyzing the data collected from 10 hybrid rice from Huaxiang A for rice regional test with the coefficient of the correction and path analysis, the results indicated that there exist significant positive correlation between daily production and effective panicle number, plant height and panicle length, grain number per panicle and filled grain number of per panicle, respectively. And the contribution of daily production to grain yield is the largest, next for effective panicle number. The head rice rate and chalky rice rate, length/width ratio and chalky rice rate, length/width ratio and chalkiness degree are significant negative correlation. Accordingly, we can increase the yield of hybrid rice from Huaxiang A by improving the daily production and the number of effective panicle, extending the growth period, reducing the plant height and panicle length properly. And in order to improve the grain quality, we should reduce the length/width ratio moderately, so as to improve the grain filling efficiency, reduce the chalky rice rate and chalkiness degree, and improve the head rice rate.

Key words: rice; Huaxiang A; yield; quality; correlation analysis; path analysis