

水稻空间诱变恢复系主要农艺经济性状配合力分析

刘永柱, 林轩东, 张建国, 王 慧, 郭 涛, 陈志强

(华南农业大学 植物航天育种研究中心, 广东 广州 510642)

摘要:以9个不育系和5个经空间诱变选育的恢复系(明恢63为对照)为材料,采用 $p \times q$ 不完全双列杂交(NC II)对8个主要农艺经济性状进行了配合力分析和遗传力估算. 结果表明,所有恢复系中,只有航恢七号在8个性状上的一般配合力都表现出正向效应,尤其在有效穗数、结实率、实粒数、千粒质量等性状上表现出较好的一般配合力,所配组合华优航七、川香优航七、天丰优航七、II优航七和培杂航七表现出较高的特殊配合力. 航恢九号在单株穗质量、实粒数、千粒质量性状上,航恢八号在产量和结实率上,航恢88在有效穗数、单株穗质量、穗长、实粒数性状上表现出较高的一般配合力,这3个恢复系所配组合华优航九、培杂航九、天优航八、农丰优航八、沪优航八、67优88和十优88在产量性状上表现出较高的特殊配合力. 这8个性状的遗传是由加性和非加性效应共同控制,主要以加性效应为主.

关键词:水稻; 空间诱变; 恢复系; 配合力

中图分类号: S335

文献标识码: A

文章编号: 1001-411X(2009)01-0014-05

Analysis on the Combining Ability of Main Agronomic and Economic Traits for Restorer Lines Derived from Space Mutation in Rice

LIU Yong-zhu, LIN Xuan-dong, ZHANG Jian-guo, WANG Hui, GUO Tao, CHEN Zhi-qiang

(Plant Space Breeding Research Center, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: Nine sterile lines and 5 restoring lines selected from space induced mutants were used to analyze the combining ability and heritability of 8 agronomic and economic characters with a $p \times q$ incomplete diallele cross(NC II) design. The results were as follows: Among all the restorer lines tested, only Hanghui No. 7 showed positive effect on the eight traits, especially for the general combining ability (gca) in productive panicle number, seed setting rate, filled spikelets per panicle and 1000-grain mass, and the hybrid combinations derived from Hanghui No. 7, such as Huayouhangqi, Chuanxiangyouhangqi, Tianfengyouhangqi, II youhangqi and Peizahangqi exhibited significant specific combining ability (sca). General combining ability of Hanghui No. 9 in grain mass per plant, filled spikelets per panicle and 1000-grain mass was significant, and the gca of Hanghui No. 8 in grain yield and seed setting rate was significant too. Hanghui 88 showed high gca in productive panicle number, grain mass per plant, panicle length and filled spkikelets per panicle. The hybrid combinations Huayouhangjiu, Peizahangjiu, Tianfengyouhangba, Nongfengyouhangba, Huyouhangba, 67you88 and Shiyou88 also showed high sca in grain yield. The results indicated that the eight agronomic and economic traits were controlled by both additive and non-additive effects, and the additive effects were the principal one.

Key words: rice; spatial mutagenesis; restorer lines; combining ability

收稿日期: 2008-09-20

作者简介: 刘永柱(1974—), 男, 助理研究员, 硕士; 通讯作者: 陈志强(1956—), 男, 教授, E-mail: chenlin@scau.edu.cn

基金项目: 国家863计划项目(2002AA241011, 2007AA100101); “十一五”国家科技支撑计划重点项目(2008BAD97B02); 广东省科技计划项目(2004A20107001, 2006A20202006, 2007A020400003); 广东省自然科学基金(010353, 06105466)

1973年籼型杂交水稻 *Oryza sativa* L. 三系配套后,恢复系的选育进程加快,并测配了大量杂交水稻新组合,满足了不同生态地区的不同要求,杂交水稻推广种植面积迅速扩大,杂交水稻组合的更替与变迁,离不开恢复系的改进与发展^[1]. 目前杂交育种仍然是选育杂交水稻恢复系最基础和最常用的育种手段,众多育种者利用该手段选育出一大批具有各自特色的优良恢复系并组配出多个杂交水稻新组合,为杂交稻生产作出了巨大贡献^[2-4]. 我国水稻恢复系遗传资源较为丰富,但生产上大面积应用的主要恢复系之间的遗传背景比较单一,大部分材料的遗传相似系数较高,这就势必造成恢复系的遗传基础过于狭窄,使选育新组合在产量方面很难有大的突破^[5-7]. 20世纪80年代末以来我国利用空间诱变育种,先后选育和创造出一大批优质、高产、高抗的水稻新品种和新种质. 空间诱变具有变异频率高、幅度大、多数性状能遗传等特点,既能明显改良作物的某些农艺性状,又能获得地面育种难以得到的罕见突变,是一种新的育种方法^[8-11]. 福建省农业科学院利用空间诱变技术选育出水稻三系恢复系航1号,黎毛毛等^[12]和周炳炎等^[13]利用返地式科学卫星搭载水稻,从诱变后代群体中获得了三系籼型不育系具有恢复能力的突变体^[12-13],但鲜见有对其配合力分析的报告.

本研究以空间诱变筛选的恢复系为材料,研究了其农艺经济性状的配合力和遗传力,旨在利用空间诱变技术创建和选育新的杂交水稻恢复系,拓宽恢复系选育途径及扩大其遗传背景,并评价其在杂交稻育种上的利用价值.

1 材料与方法

1.1 试验材料

选用生产上常用的不育系(P_1):华A、川香A、II-32A、天丰A、农丰A、67A、沪早A、十A和培矮

64S,空间诱变选育的恢复系(P_2):航恢六号、航恢七号、航恢八号、航恢九号、航恢88以及明恢63(对照),作为亲本材料.

1.2 试验方法

采用NC II遗传组配设计,2005年早造在广州配制54个杂交组合,2005年晚造在华南农业大学试验田种植,随机区组排列,3次重复,每重复按小区种植49(7×7)株,行株距20 cm×20 cm. 成熟时田间调查株高、剑叶长、剑叶宽. 收获后调查每重复平均穗数,按平均穗数选取5株进行室内考种,考查穗数、穗长、实粒数、总粒/穗、结实率、千粒质量、谷粒长、谷粒宽、谷粒长宽比和小区总产量等,所获数据以小区平均数为单位分析配合力.

按Griffing^[14]提出的模型分析一般配合力和特殊配合力效应,数据整理和统计按刘来福等^[15]的方法进行,结实率进行反正弦转换.

2 结果与分析

2.1 差异显著性测定

54个杂交组合的实测产量及主要农艺性状配合力的方差分析结果见表1. 一般方差分析表明,54个组合的产量、株高、有效穗数、每穗实粒数、结实率、千粒质量等8个主要农艺性状在区组间不存在显著差异,不育系方差、恢复系方差和不育系×恢复系互作方差均达到极显著差异,表明这8个性状受加性和非加性效应影响,参试组合间存在真实遗传差异.

2.2 一般配合力效应分析

一般配合力(GCA)反映各性状基因加性效应程度及加性效应的稳定遗传和固定,在同一试验中不因试验地点和年份变化发生较大的改变,表2列出了6个恢复系8个性状GCA的效应值. 从表2中可看出,同一性状各恢复系间的GCA差异较大,由于亲本性状的遗传性,决定了同一恢复系不同性状的

表1 各性状方差分析和配合力方差分析(F)¹⁾

Tab. 1 Variance analysis of some characters and combining ability

变异来源	自由度	产量	株高	穗数	单株穗质量	穗长	每穗实粒数	结实率	千粒质量
区组间	2	1.94	0.63	0.95	1.33	0.21	1.22	0.77	0.08
组合间	53	6.99**	8.05**	3.88**	4.96**	7.67**	7.88**	18.03**	38.98**
P_1	8	14.29**	25.27**	9.42**	11.26**	27.64**	15.10**	23.18**	183.71**
P_2	5	23.65**	26.56**	11.19**	13.88**	27.54**	23.77**	56.14**	115.45**
$P_1 \times P_2$	40	3.69**	2.87**	2.05**	2.80**	1.86**	4.69**	12.41**	20.37**

1): P_1 为不育系, P_2 为恢复系, **表示达1%的极显著水平

GCA 也表现出较大差异. 从表中可以看出, 所有恢复系中, 只有航恢七号在 8 个性状上都表现为正向效应; 在与产量密切相关的主要性状中, 有效穗数、结实率、千粒质量 3 个性状上的相对效应值低于对照明恢 63, 而实粒数明显高于对照. 航恢七号所配杂交组合在产量 3 要素中的穗粒数、千粒质量 2 因素上表现出较好的配合力, 对产量的影响较大, 为提高水稻产量打下了良好的基础. 航恢七号所配组合

表现为有效穗数多、大穗、结实率高等特点, 具有较高的产量水平. 对于其他恢复系而言, 航恢八号结实率、产量一般配合力分别为 4.83 和 2.07, 名列第 2 和第 3, 航恢九号单株穗质量、实粒数、千粒质量效应值分别居第 3 位, 而航恢 88 在有效穗数、单株穗质量、穗长、实粒数 4 个性状上表现出较高的一般配合力, 尤其是单株穗质量和实粒数均位于所有恢复系之首.

表 2 恢复系主要农艺性状的一般配合力(GCA)效应值

Tab. 2 General combining ability (GCA) effects of restorer lines on 8 agronomic characters

性状	航恢六号	航恢七号	航恢八号	航恢九号	航恢 88	明恢 63
产量	-3.33	11.66	2.07	-1.40	-2.93	12.95
株高	-1.03	4.17	-4.22	0.14	0.41	3.11
有效穗数	-1.07	4.30	1.30	-0.47	3.28	6.43
单株穗质量	-3.30	1.44	0.12	5.83	7.50	6.58
穗长	-2.86	0.92	-3.18	-1.19	4.60	4.93
实粒数	1.51	8.63	-0.26	6.38	10.89	-14.87
结实率	0.28	4.61	4.83	-0.48	1.47	5.81
千粒质量	-4.00	1.80	-1.87	0.36	-6.72	13.15

2.3 特殊配合力效应值

有效穗数、单株穗质量、粒数、千粒质量、结实率等性状特殊配合力(SCA)的表现最终体现产量性状的配合力上, 因此, 本文仅对小区产量特殊配合力进行了分析. 表 3 列出了 54 个组合小区产量的特殊配合力效应值, 从中可看出, 不同组合间的 SCA 差异很大, 且同一亲本所配组合间 SCA 差异也很大, 所有组合的小区产量特殊配合力相对效应中, 航恢七号有 7 个组合表现为正效应, 都具有增产的趋势, 而且华优航七、川香优航七、天丰优航七、II 优航七和培杂航

七等 5 个组合的小区产量特殊配合力效应值在相应的不育系与其他几个恢复系所配组合中均排名第 1, 且高于对照明恢 63. 所有恢复系所配组合小区产量特殊配合力位居前列的 5 个组合中航恢七号占了 4 个, 分别是天丰优航七、川香优航七、华优航七和培杂航七, 这说明航恢七号所配组合表现出较强的杂种优势. 华优航九、培杂航九、天优航八、农丰优航八、沪优航八、67 优 88 和十优 88 也表现出较好的特殊配合力, 其效应值分别为: 4.65、8.83、8.89、14.29、5.00、8.56 和 3.35.

表 3 产量的特殊配合力相对效应值

Tab. 3 Specific combining ability effects of yield

亲本	航恢七号	航恢六号	航恢九号	航恢八号	航恢 88	明恢 63
华农 A	9.93	-1.07	4.65	-3.40	-1.15	-6.76
川香 29A	12.29	2.07	2.37	-6.07	-6.72	-3.93
天丰 A	13.80	0.03	-10.27	8.89	-3.89	-8.50
农丰 A	-4.02	-0.12	-2.80	14.29	-5.81	-1.54
II -32A	4.78	-1.54	0.14	-1.88	1.76	0.26
67A	-4.86	-11.72	2.59	-14.19	8.56	19.63
沪早 A	1.88	7.41	-7.45	5.00	-0.82	-6.03
十 A	1.66	-7.31	-2.16	2.03	3.35	2.43
培矮 64S	9.82	-1.53	8.83	-4.66	1.70	4.48

2.4 各性状遗传参数的分析

根据配合力方差分析结果估算 8 个农艺经济性状的广义遗传率和狭义遗传率. 结果(表 4)表明,在 8 个性状中,遗传方差均大于环境方差,表明这些性状的变异中遗传变异主要受遗传控制. 在 4 个遗传方差中,加性方差大于非加性方差,一般配合力方差大于特殊配合力方差,表明在这些性状的遗传表现中,加性基因效应占主导地位,且能稳定地遗传. 在

特殊配合力方差中,小区产量、单株穗质量、结实率和千粒质量方差分别达到 20.73、21.54、43.75 和 20.41,表明其遗传类型较丰富,选择大、重穗型和结实率高等有突破性组合的机会较大. 除结实率外,小区产量、株高、有效穗数、单株穗质量、穗长、实粒数和千粒质量等 7 个性状的 h_N^2 、 h_B^2 均大于 50% 且相差不大,表明其加性效应显著大于非加性效应,性状的表现主要受遗传因素影响,受环境影响较小.

表 4 8 个性状的群体遗传参数估计

Tab. 4 The heredity parameter value of 8 characters for population

性状	环境方差 (V_E)	亲本 1 方差(V_{P_1})	亲本 2 方差(V_{P_2})	亲本互作 方差($V_{P_{1,2}}$)	GCA 方差 (V_g)/%	SCA 方差 (V_s)/%	h_N^2 /%	h_B^2 /%
产量	0.027	0.041	0.024	0.0170	79.270	20.730	75.230	59.630
株高	10.350	26.590	20.130	6.460	87.850	12.150	89.830	83.710
有效穗数	0.540	2.86	2.180	0.680	88.110	11.890	80.250	91.830
单株穗质量	1.440	23.210	13.37	9.840	78.460	21.540	76.430	96.990
穗长	0.740	1.83	1.62	0.210	94.260	5.740	78.410	83.180
实粒数	364.180	885.560	574.260	311.300	82.420	17.580	68.370	82.940
结实率	0.003	0.016	0.002	0.014	56.250	43.750	51.430	91.430
千粒质量	2.600	4.63	2.740	1.890	79.590	20.410	62.140	78.080

3 讨论

杂交稻亲本一般配合力和特殊配合力的相互关系前人作过一些研究和分析,但结论并不完全一致^[16-22]. 有研究认为亲本的自身表现值与一般配合力有显著的正相关关系^[23]. 也有人认为一般配合力与特殊配合力之间没有明显的对应关系,由 2 个一般配合力高的亲本所配的杂种中,该组合的特殊配合力不一定高^[24-25].

本试验结果表明 8 个性状一般配合力和特殊配合力差异均达极显著水平,说明这些性状的遗传是由加性和非加性基因共同控制. 结实率性状广义遗传力与狭义遗传力相差较大,说明该性状非加性遗传的作用较突出,由不育系、恢复系直接传给杂种的能力较弱,受环境及栽培条件影响较大,而其他性状主要以加性遗传效应为主,受环境影响较小. 8 个农艺性状中各性状亲本的一般配合力与组合特殊配合力之间存在着一定的相关关系,表明这 2 个配合力之间存在一定的对应关系. 例如,航恢七号在所有性状上的一般配合力表现较好,尤其在有效穗数、结实率、千粒质量性状上表现出较高的一般配合力,容易组配出大穗型品种,华优航七、川香优航七、天丰优

航七、II 优航七、和培杂航七等 5 个组合的小区产量特殊配合力效应值在所有恢复系与相应母本所配组合中均排名第 1,这与实际生产也相符,华优航七和 II 优航七在广东省区试中分别名列同熟期组合第 1 和第 2,天丰优航七已进入省区试和生产试验,培杂航七已通过广东省品种审定. 航恢九号在单株穗质量、实粒数、千粒质量性状上,航恢八号在小区产量和结实率上,航恢 88 在有效穗数、单株穗质量、穗长、实粒数性状上表现出较高的一般配合力,这几个恢复系所配组合华优航九、培杂航九、天优航八、农丰优航八、沪优航八、67 优 88 和十优 88 同样表现出较高的特殊配合力.

前人对杂交水稻恢复系配合力分析主要集中在对某一特殊亲本与某几个不育系组配杂种的主要性状上,而对利用恢复系与两系不育系及三系不同胞质不育系所配杂种组合进行配合力分析则鲜见报道. 从本研究结果可以看出,利用空间诱变技术可以创造水稻新恢复系并组配出优良的杂交水稻新组合. 选育出的恢复系航恢七号表现为配合力好、恢复力强、恢复谱广等特点,与两系不育系、不同胞质类型的感温和感光型三系不育系所配系列杂交组合均表现较强的杂种优势^[26],目前鲜见利用其他育种途

径创建和选育出具有如此恢复度强和恢复谱广的广谱恢复系。另外,米质分析结果也表明,航恢七号所配杂交稻新组合在糙米率、整精米率、直链淀粉含量和胶稠度等性状上比对照培杂双七都有所改良(另文发表),其对改良杂交水稻品质上具有较好的利用前景,是一个优良的杂交水稻新恢复系,弄清其遗传特性及恢复机理具有重要的实践意义,相关工作正在进行中。选育出的航恢九号和航恢八号以及航恢88所配组合分别在结实率;单株穗质量和实粒数;实粒数、单株穗质量、穗长和有效穗数等性状上表现出较好的一般配合力。华优航九、培杂航九、天优航八、农丰优航八、沪优航八以及67优88在产量性状上都表现出较高的特殊配合力,杂种具有较高的产量表现。因此,利用空间诱变技术为杂交水稻恢复系选育以及拓宽恢复系的遗传背景开辟了一条新的育种途径。

参考文献:

- [1] 徐秋生,阳和华,周坤炉. 三系杂交水稻恢复系选育的实践与体会[J]. 杂交水稻,2004,19(2):21-23.
- [2] 王玉平,李仕贵,黎汉云,等. 高配合力优质水稻恢复系蜀恢527的选育与利用[J]. 杂交水稻,2004,19(4):12-14.
- [3] 竭润生,刘福平,杨春华,等. 高配合力水稻新恢复系南恢511的选育[J]. 杂交水稻,2005,20(5):15-16.
- [4] 严明建,黄文章,吕直文,等. 广谱恢复系万恢88主要性状配合力分析[J]. 种子,2006,25(8):92-93.
- [5] 李必湖,李光清,宁鹏,等. 早籼恢复系402生物学特性及高产制种技术[J]. 作物研究,2003,17(2):81-83.
- [6] 刘殊,程慧,王飞,等. 我国杂交水稻主要恢复系的DNA多态性研究[J]. 中国水稻科学,2002,16(1):1-5.
- [7] 段世华,毛加宁,朱美国. 用微卫星DNA标记对我国杂交水稻主要恢复系遗传差异的检测分析[J]. 遗传学报,2002,29(3):250-254.
- [8] KONZAK C F, NILAN R A, KLEINHOF S A. Artificial-mutagenesis as an aid in overcoming genetic vulnerability of crop plants[M]//MU-HAMMED A, AKSEL R, BORSTEL R C. Genetic Diversity in Plants. New York: Plenum Press, 1997: 163-177.
- [9] 蒋兴村,李金国,陈芳远,等. “8885”返地卫星搭载对水稻种子遗传性的影响[J]. 科学通报,1991,36(23):1820-1824.
- [10] 陈芳远,蒋兴村,卢升安,等. 高空环境对水稻遗传性的影响[J]. 中国水稻科学,1994,8(1):1-8.
- [11] 李常银,孙野青,杨谦. 空间生物学研究进展[J]. 哈尔滨工业大学学报,2003(4):385-388.
- [12] 黎毛毛,周炳炎,许秀钧. 水稻空间诱变后代恢复力的研究[J]. 江西农业科技,1998,2:24-25.
- [13] 周炳炎,许秀钧,黎毛毛,等. 水稻空间诱变恢复系杂种优势测定试验初报[J]. 遗传,2001,23(3):234-236.
- [14] GRIFFING B. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems[J]. Aust J Biol Sci,1956,9:454-463.
- [15] 刘来福,毛盛贤,黄远樟. 作物数量遗传[M]. 北京:农业出版社,1984.
- [16] 戴正元,李爱宏,刘广青,等. 几个优良籼稻亲本品质性状的配合力和杂种优势分析[J]. 植物遗传资源学报,2006,7(2):234-238.
- [17] 包灵丰,林纲,赵德明,等. 水稻宜恢1577的籼粳特性鉴别和产量配合力分析[J]. 作物学报,2006,32(3):472-474.
- [18] 张亚东,朱镇,赵凌,等. 籼型两系杂交水稻品质和产量性状的配合力及遗传力分析[J]. 西南农业学报,2006,19(3):355-359.
- [19] 宋宇,邹小云,贺浩华,等. 籼型三系杂交水稻产量及其相关性状的配合力分析[J]. 江西农业大学学报,2004,26(5):719-725.
- [20] 张利华,王建军,王林友,等. 籼型三系杂交水稻整精米率的配合力分析[J]. 种子,2006,25(6):68-70.
- [21] 朱镇,赵凌,宗寿余,等. 籼型两系杂交水稻主要农艺性状的配合力分析[J]. 江苏农业学报,2004,20(4):207-212.
- [22] 李国鹏,郭建夫,汤能. 籼型三系杂交稻主要品质性状配合力研究[J]. 江西农业学报,2007,19(12):1-5.
- [23] 廖伏明,周坤炉,盛孝邦,等. 籼型三系杂交稻主要农艺性状配合研究[J]. 作物学报,1999,25(5):622-631.
- [24] 翟虎渠,曹树青,唐运来,等. 籼型杂交水稻光合性状的配合力及遗传力分析[J]. 作物学报,2002,28(2):154-160.
- [25] 齐绍武,盛孝邦. 籼型两系杂交水稻主要农艺性状配合力及遗传力分析[J]. 杂交水稻,2000,15(3):38-40.
- [26] 刘永柱,陈志强,张建国,等. 空间诱变水稻广谱恢复系航恢七号的选育及利用[J]. 核农学报,2008,22(4):439-442.

【责任编辑 周志红】