

网络出版时间:2017-03-07 11:16 DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2017.04.006
网络出版地址:http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20170307.1116.012.html

施氮水平对杂交水稻亲本产量性状配合力的影响

张 杰,杨国涛,李亚男,范永义,蒋 芬,陈 敬,胡运高

(西南科技大学 水稻研究所,四川 绵阳 621010)

【摘 要】 【目的】研究不同施氮水平下杂交水稻亲本的配合力,为筛选出氮素高效利用的水稻亲本材料提供理论依据。**【方法】**选择生产上大面积应用的 5 个高配合力水稻不育系(浙 8010A、宜香 1A、川农 1A、冈 46A、803A)为母本,6 个水稻恢复系(成恢 727、绵恢 662、绵恢 4761、雅恢 2115、乐恢 188、宜恢 1577)为父本,配置不完全双列杂交组合 30 个,设低氮肥(0 kg/hm²)、中氮肥(150 kg/hm²,正常施氮水平)、高氮肥(300 kg/hm²)3 个施氮水平,比较各亲本在不同施氮水平下产量性状的配合力和遗传力效应。**【结果】**在不同施氮水平下,不育系、恢复系及其互作效应对杂交水稻的产量性状均可产生显著影响;正常施氮水平下,不育系对杂交水稻产量性状的影响高于恢复系;而在低氮和高氮水平下,恢复系对杂交水稻产量性状的影响高于不育系。川农 1A、乐恢 188 属于氮素不敏感类型亲本,在不同氮肥水平下产量配合力均较高;803A、冈 46A 属于喜中低氮类型亲本,在中低氮环境下产量一般配合力效应远大于高氮环境;浙 8010A、宜香 1A 属于喜高氮类型亲本,仅在高氮水平下表现较高的产量。在正常施氮水平下,浙 8010A×成恢 727 的产量性状具有较高的特殊配合力效应;在低氮水平下,宜香 1A×雅恢 2115 的产量性状具有较高的特殊配合力效应;在高氮水平下,803A×绵恢 662 的产量性状具有较高的特殊配合力效应。在低氮和高氮水平下,杂交水稻的产量性状均比正常施氮更易受环境影响;在正常氮素水平下,各产量性状受亲本的加性效应影响较大;在低氮和高氮水平下,各产量性状受环境影响较大。**【结论】**在不同的施氮水平下,亲本产量性状的一般配合力效应均与其组合的特殊配合力效应无必然联系;氮素水平过高或过低,都会导致亲本的非加性效应增强,环境对各产量性状的影响增大;因此在不同生态区选育优质高产的杂交水稻组合时,品种筛选试验田必须选择相适应的氮素水平。

【关键词】 杂交水稻;施氮水平;配合力;产量性状

【中图分类号】 S511.035.1

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2017)04-0037-08

Effect of nitrogen level on combining ability of yield traits of hybrid rice

ZHANG Jie, YANG Guotao, LI Yanan, FAN Yongyi,

JIANG Fen, CHEN Jing, HU Yungao

(Institute of Rice, Southwest University of Science and Technology, Mianyang, Sichuan 621010, China)

Abstract: 【Objective】 This paper studied the combining ability of hybrid rice parents under different nitrogen levels to provide theoretical basis for selecting rice parents with high nitrogen utilization efficiency. **【Method】** Combining ability and heritability of yield related traits of hybrid rice were analyzed using incomplete diallel cross of five high combining ability sterile lines (Zhe 8010A, Yixiang 1A, Chuannong 1A, Gang 46A, and 803A) and six restorers (Chenghui 727, Mianhui 662, Mianhui 4761, Yahui 2115, Lehui 188, and Yihui 1577). **【Result】** Sterile lines, restorers and their interaction effects had significant impacts on yield related traits under different nitrogen levels. Sterile lines had stronger influence than restorers under normal nitrogen level, while restorers had stronger influence than sterile lines under high and the low nitro-

【收稿日期】 2016-05-13

【基金项目】 国家科技支撑计划项目(2014BAD01B03);四川省省属高校科研创新团队建设计划项目(14TD0011);四川水稻创新团队岗位专家项目(川农业函[2014]91号)

【作者简介】 张 杰(1990—),男,湖南永州人,在读硕士,主要从事水稻遗传育种研究。E-mail: zhangjie0930123@163.com

【通信作者】 胡运高(1963—),男,四川绵阳人,研究员,博士,主要从事水稻遗传育种研究。E-mail: swust. rri@163.com

gen levels. In particular, Chuannong 1A and Lehui 188 were not sensitive to nitrogen level, and they had the highest yield combining ability under all nitrogen levels. Gang 46A and 803A belonged to the low and medium nitrogen types and they had the highest yield combining ability under low and medium nitrogen levels. Zhe 8010A and Yixiang 1A were high nitrogen type and they only showed high yield under high nitrogen level. Zhe 8010A×Chenghui 727 had high specific combining ability (SCA) under normal nitrogen level, Yixiang 1A×Yahui 2115 had high SCA under low nitrogen level, while 803A×Mianhui 662 had high SCA under high nitrogen level. The yield traits under low and high nitrogen levels were more easily affected by environment. Yield traits were affected by the additive effect of parents under normal nitrogen level, and they were influenced by the environment under low and high nitrogen levels. 【Conclusion】 The general combining ability effect of yield traits of parents was not necessarily related to SCA effect of the combination. Too high or too low nitrogen levels increased the parent non-additive effects, and environment had significant effects as well. Therefore, suitable nitrogen levels should be used when breeding combination of high quality and yield hybrid rice in different ecological regions.

Key words: hybrid rice; nitrogen level; combining ability; yield trait

氮素是植物需求量最大的矿质元素,同时也是影响水稻生长发育和产量最敏感的营养元素之一^[1-2]。美国著名植物遗传育种学家、诺贝尔和平奖获得者 Borlaug 博士进一步指出,化肥在全世界范围内粮食增产中的作用超 50%,其中氮肥占 1/2 以上^[3]。绿色革命以来,提高水稻产量往往是通过增加化肥施用量(主要是氮肥)和选育适应高施氮量的高产品种来实现,但产量增幅远远低于氮肥施用量增幅^[4]。研究表明,如立即停止使用氮肥,全世界农作物将会减产 40%~50%^[5]。在氮肥大量施用的同时,氮素利用率却处于较低水平^[6-7],特别是在中国,氮肥当季利用率只有 35%左右,比发达国家低 15~20 百分点。这不仅造成能源、资源和经济上的巨大浪费,也带来严重的环境问题^[8-9]。因此,不论出于经济效益的考虑,还是出于对生态环境的担忧,在保证产量的同时提高水稻氮素营养效率^[10-11],已成为重要的育种目标之一。氮素营养效率的遗传改良、氮高效基因型的选育和生理生态基础的探明等,已成为水稻科学研究的重要方向。

配合力是杂交育种和杂种优势利用中亲本选配的重要指标^[12],在亲本选育和组合选配中起着重要作用。而杂种优势由亲本的一般配合力和组合的特殊配合力决定^[13]。实践表明,利用一个配合力高的亲本常常会组配出一批优异的杂交水稻组合^[14-16]。针对不同性状,对优良亲本开展配合力及利用价值的研究具有至关重要的作用和必要性。前人对产量性状的配合力研究主要在同一肥料水平下,但针对不同施氮水平下水稻亲本的产量性状配合力和遗传力研究目前在国内尚未见报道。为此,本研究着重比较不

同施氮水平下水稻产量性状的配合力和遗传力效应,以期对杂交水稻氮素高效利用品种的筛选,及根据当地农田肥力条件选择合适的杂交水稻品种提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本试验选用生产上广泛应用的 5 个高配合力水稻不育系浙 8010A、宜香 1A、川农 1A、冈 46A、803A,分别与 6 个高配合力水稻恢复系成恢 727、绵恢 662、绵恢 4761、雅恢 2115、乐恢 188 和宜恢 1577,按 5×6 不完全双列杂交配置 30 个组合。

1.2 试验设计

供试水稻于 2015 年 4 月在西南科技大学农园试验基地播种,5 月栽插。试验采用裂区设计,3 次重复。主区是施 N 量,设 3 个水平:低氮肥处理(0 kg/hm²)、中氮肥处理(150 kg/hm²,常规氮肥用量)、高氮肥处理(300 kg/hm²);副区是水稻品种。氮肥的施用比例为 $m(\text{基肥}):m(\text{分蘖肥})=7:3$ 。不同施氮处理间用薄膜隔开,以防止水肥渗漏。每个小区四周设保护行,小区面积为 11 m×10 m,行距 0.33 m,株距 0.17 m。试验田土壤全氮含量 1.98 g/kg,速效氮含量 80.3 mg/kg,速效磷含量 43.3 mg/kg,速效钾含量 76.2 mg/kg。

1.3 试验方法

小区产量实行单收、单晒,按实收面积分别称量各品种每个小区的产量。每小区各品种按平均分蘖数取具有代表性植株 5 株进行考种,3 次重复。配合力分析及群体遗传参数的估算根据 NC II 交配设计模型(I 固定模型)^[17]进行。

1.4 数据处理

在 Excel 2003 中进行数据整理,用 SPSS 17.0、DPS 7.05 数据分析软件进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 不同施氮水平下水稻产量性状和配合力的方差分析

由表 1 可知,在不同施氮水平下,水稻不育系和恢复系互作效应对各产量性状的影响均达极显著水平。在正常施氮水平下,恢复系对产量、结实率和千粒质量的影响达到显著或极显著水平;不育系除有

效穗数外,对其他产量性状的影响均达显著或极显著水平。可见在正常施氮水平下,不育系对杂交水稻产量性状的影响高于恢复系。在低氮水平下,恢复系对产量、结实率和千粒质量的影响达显著或极显著水平,不育系对各产量性状的影响均未达显著水平,说明低氮水平下恢复系对杂交水稻产量性状的影响更大。在高氮水平下,恢复系对有效穗数和千粒质量的影响均达极显著水平,不育系仅对千粒质量的影响达显著水平。与低氮水平相似,高氮水平下恢复系对杂交水稻产量性状的影响大于不育系。

表 1 水稻不育系和恢复系及其互作效应的方差分析

Table 1 Variance analysis of rice sterile line,restorer and their interaction effects

施氮水平 N-level	变异来源 Source of variation	自由度 df	产量 Grain weight	有效穗数 Effective panicle	穗粒数 Spikelets panicle	结实率 Seed set rate	千粒质量 1 000-grain weight
N	恢复系 Restorer	5	715.15 *	7.91	2 684.83	0.02 * *	114.88 * *
	不育系 Sterile line	4	755.30 *	5.16	16 390.13 * *	0.01 * *	55.14 * *
	组合 Sterile line×Restorer	29	398.96 * *	4.37 * *	3 917.58 * *	0.01 * *	30.86 * *
N－	恢复系 Restorer	5	357.72 * *	2.60	4 170.87	0.01 *	115.44 *
	不育系 Sterile line	4	74.13	0.74	2 922.40	0.01	50.37
	组合 Sterile line×Restorer	29	116.59 * *	2.08 * *	2 404.08 * *	0.00 * *	49.60 * *
N＋	恢复系 Restorer	5	674.25	22.60 * *	3 056.14	0.03	124.27 * *
	不育系 Sterile line	4	172.96	2.09	2 596.81	0.02	68.03 *
	组合 Sterile line×Restorer	29	323.82 * *	7.11 * *	2 490.50 * *	0.02 * *	45.25 * *

注:“* , * *”分别表示差异在 P=0.05 和 P=0.01 达显著水平。N、N－、N＋分别表示正常施氮水平、低氮水平和高氮水平。下表同。
Note:“* and * *” represent significance at the P=0.05 and P=0.01 levels, respectively. N,N－,and N＋ represent significance at normal,low and high nitrogen levels, respectively. The same below.

2.2 水稻不育系及恢复系的一般配合力效应(GCA)和特殊配合力效应(SCA)

由表 2 可见,在不同施氮水平下,相同亲本的产量一般配合力效应值存在较大差异。比较不同氮肥水平下各个亲本的一般配合力效应值,根据参试亲本在不同施氮水平下的表现,可将其分为以下几种类型:产量一般配合力效应值对氮肥反应相对不敏感类型,如川农 1A、乐恢 188,这些亲本在不同施氮水平下均表现出较高的产量一般配合力效应值;喜中低氮类型,如 803A、冈 46A、绵恢 4761,该类亲本在中低氮水平下表现出较高的产量一般配合力效应,在高氮水平下产量一般配合力效应下降较大;喜高氮类型,如浙 8010A、宜香 1A、绵恢 662、雅恢 2115,该类亲本只有在高氮水平下才表现出较高的产量一般配合力效应。

分析各产量性状在不同施氮水平下的一般配合力效应值差异,发现喜高氮类型亲本主要是低氮水平下穗粒数的配合力下降导致产量一般配合力效应值降低(浙 8010A、宜香 1A、绵恢 662),但雅恢 2115 主要是在低氮水平下有效穗数一般配合力降低导致

产量配合力下降;而喜中低氮类型的亲本主要是在高氮水平下千粒质量一般配合力降低,从而导致产量一般配合力效应值降低,如 803A、冈 46A、绵恢 4761,且 803A 的产量配合力降低与穗粒数的一般配合力下降有关。

由表 3 可知,在不同施氮水平下,同一不育系所配组合及同一组合不同性状间的特殊配合力效应差异都较大,说明父本和母本基因共同控制水稻产量性状,且对不同产量性状的影响存在差异。由表 3 可以看出,在正常施氮水平下,浙 8010A×成恢 727、宜香 1A×宜恢 1577 和冈 46A×绵恢 4761 在产量、有效穗数、结实率等性状上均具有较高的特殊配合力效应,因此这 3 个组合的产量性状特殊配合力结合得较好。在低氮水平下,宜香 1A×雅恢 2115、川农 1A×成恢 727 和 803A×绵恢 4761 在产量、有效穗数、结实率等性状上均具有较高的特殊配合力效应,因此这 3 个组合具有较高的耐低氮能力,适宜种植在氮肥用量较低的地区。在高氮水平下,803A×绵恢 662、浙 8010A×雅恢 2115 和宜香 1A×成恢 727 在产量、有效穗数、结实率等性状上

均具有较高的特殊配合力效应,因此这 3 个组合适 宜种植在氮肥用量较高的环境中。

表 2 水稻不育系和恢复系产量性状的一般配合力效应

Table 2 General combining ability of yield traits of rice sterile line and restorer

施氮水平 N-level	亲本 Parent	产量 Grain weight	有效穗数 Effective panicle	穗粒数 Spikelets panicle	结实率 Seed set rate	千粒质量 1 000-grain weight
N	浙 8010A Zhe 8010A	−16.20	4.48	−15.77	0.68	4.36
	宜香 1A Yixiang 1A	−6.99	2.61	−12.50	−1.21	6.58
	川农 1A Chuannong 1A	13.11	2.61	3.86	−3.18	−0.84
	冈 46A Gang 46A	4.59	−4.85	3.99	−1.41	−1.83
	803A	5.49	−4.85	20.42	5.12	−8.26
	成恢 727 Chenghui 727	−11.09	−0.93	−6.10	4.28	1.28
	绵恢 662 Mianhui 662	−2.32	5.78	−7.74	−0.96	3.36
	绵恢 4761 Mianhui 4761	18.53	−4.29	6.38	−2.76	−2.25
	雅恢 2115 Yahui 2115	−11.07	−8.77	−1.80	4.68	10.91
	乐恢 188 Lehui 188	11.56	0.75	8.21	−6.37	3.22
N−	宜恢 1577 Yihui 1577	−5.62	7.46	1.04	1.13	−16.52
	浙 8010A Zhe 8010A	−3.00	0.88	−5.01	1.35	−1.15
	宜香 1A Yixiang 1A	−5.11	−1.32	−9.11	−1.55	9.25
	川农 1A Chuannong 1A	2.77	3.09	0.54	−2.48	−2.70
	冈 46A Gang 46A	1.07	−1.87	4.12	1.78	−2.06
	803A	4.27	−0.77	9.45	0.90	−3.34
	成恢 727 Chenghui 727	7.14	−1.43	−1.09	0.10	−1.78
	绵恢 662 Mianhui 662	−2.61	3.86	−6.02	−1.77	0.64
	绵恢 4761 Mianhui 4761	3.75	−6.06	5.08	−0.46	−0.65
	雅恢 2115 Yahui 2115	−7.91	1.87	−9.51	3.70	0.16
N+	乐恢 188 Lehui 188	12.38	4.52	−5.16	−3.71	14.44
	宜恢 1577 Yihui 1577	−12.74	−2.76	16.70	2.14	−12.81
	浙 8010A Zhe 8010A	5.71	1.42	−8.05	4.80	8.41
	宜香 1A Yixiang 1A	0.63	4.07	−5.17	−6.38	2.63
	川农 1A Chuannong 1A	3.55	−1.68	2.17	0.12	1.74
	冈 46A Gang 46A	−8.54	−2.57	5.73	−2.05	−6.81
	803A	−1.35	−1.24	5.32	3.51	−5.97
	成恢 727 Chenghui 727	1.82	−8.59	2.37	7.38	4.82
	绵恢 662 Mianhui 662	10.71	7.35	−9.39	−5.87	10.39
	绵恢 4761 Mianhui 4761	−4.05	−4.34	7.43	−0.99	−2.79

表 3 杂交水稻 30 个组合产量性状的特殊配合力效应

Table 3 SCA effects of yield traits of 30 hybrid rice combinations

杂交组合 Combination	产量 Grain weight			有效穗数 Effective panicle			结实率 Seed set rate		
	N−	N	N+	N−	N	N+	N−	N	N+
浙 8010A×成恢 727 Zhe 8010A×Chenghui 727	−1.22	19.38	−13.21	−10.14	2.80	8.15	3.46	2.60	−1.22
浙 8010A×绵恢 662 Zhe 8010A×Mianhui 662	8.22	−17.73	−4.13	1.10	−6.72	2.83	1.49	−3.09	3.50
浙 8010A×绵恢 4761 Zhe 8010A×Mianhui 4761	6.35	8.11	0.39	−2.21	−5.04	−12.05	−0.57	2.53	−0.16
浙 8010A×雅恢 2115 Zhe 8010A×Yahui 2115	−9.86	−8.04	23.41	−3.53	5.04	9.21	−0.09	2.28	0.57
浙 8010A×乐恢 188 Zhe 8010A×Lehui 188	−7.03	5.04	3.92	0.44	12.31	−14.17	1.75	−6.77	−4.71
浙 8010A×宜恢 1577 Zhe 8010A×Yihui 1577	3.54	−6.76	−10.39	14.33	−8.40	6.02	−6.05	2.45	2.03
宜香 1A×成恢 727 Yixiang 1A×Chenghui 727	7.99	3.39	14.58	5.29	1.87	2.83	−5.83	−2.75	5.08
宜香 1A×绵恢 662 Yixiang 1A×Mianhui 662	−8.99	14.93	12.82	−6.62	9.14	−2.48	−2.13	1.61	−10.93

表 3(续) Continued table 3

杂交组合 Combination	产量 Grain weight			有效穗数 Effective panicle			结实率 Seed set rate		
	N—	N	N+	N—	N	N+	N—	N	N+
宜香 1A×绵恢 4761 Yixiang 1A×Mianhui 4761	—4.64	—24.46	6.89	—6.62	—0.37	3.90	2.20	—1.02	12.23
宜香 1A×雅恢 2115 Yixiang 1A×Yahui 2115	14.50	—19.23	—24.67	—1.32	—12.69	—6.73	1.97	1.18	—0.45
宜香 1A×乐恢 188 Yixiang 1A×Lehui 188	—3.34	9.39	—9.99	19.18	0.19	4.43	4.25	1.73	6.06
宜香 1A×宜恢 1577 Yixiang 1A×Yihui 1577	—5.51	15.97	0.37	—9.92	1.87	—1.95	—0.48	—0.75	—11.99
川农 1A×成恢 727 Chuannong 1A×Chenghui 727	10.31	—2.50	5.56	4.19	7.46	—7.35	3.50	4.34	—3.45
川农 1A×绵恢 662 Chuannong 1A×Mianhui 662	—7.11	1.80	—43.54	—1.10	3.54	—4.69	1.96	1.87	—6.46
川农 1A×绵恢 4761 Chuannong 1A×Mianhui 4761	—6.65	—12.40	12.76	5.51	—3.17	1.68	—2.53	—5.83	0.04
川农 1A×雅恢 2115 Chuannong 1A×Yahui 2115	1.90	21.66	5.70	7.50	—1.49	17.63	—0.77	—1.79	—0.85
川农 1A×乐恢 188 Chuannong 1A×Lehui 188	5.20	—20.91	10.00	—5.07	—2.61	4.87	—4.98	—3.16	8.49
川农 1A×宜恢 1577 Chuannong 1A×Yihui 1577	—3.65	12.36	9.52	—11.03	—3.73	—12.13	2.81	4.57	2.24
冈 46A×成恢 727 Gang 46A×Chenghui 727	—13.29	—4.89	2.81	—0.77	—4.66	6.82	—0.31	—2.72	4.00
冈 46A×绵恢 662 Gang 46A×Mianhui 662	3.38	—13.81	10.22	0.55	—2.99	—6.47	0.28	0.70	3.83
冈 46A×绵恢 4761 Gang 46A×Mianhui 4761	—8.12	17.91	—14.84	0.55	—6.90	2.57	—1.34	1.59	—12.42
冈 46A×雅恢 2115 Gang 46A×Yahui 2115	3.31	2.99	6.09	5.84	17.16	—8.06	—1.04	—0.01	—1.94
冈 46A×乐恢 188 Gang 46A×Lehui 188	9.25	13.20	—0.47	—6.73	—9.14	0.44	0.39	3.93	8.63
冈 46A×宜恢 1577 Gang 46A×Yihui 1577	5.46	—15.40	—3.82	0.55	6.53	4.69	2.02	—3.49	—2.10
803A×成恢 727 803A×Chenghui 727	—3.79	—15.38	—9.75	1.43	—7.46	—10.45	—0.83	—1.47	—4.40
803A×绵恢 662 803A×Mianhui 662	4.50	14.80	24.64	6.06	—2.99	10.81	—1.61	—1.08	10.07
803A×绵恢 4761 803A×Mianhui 4761	13.05	10.85	—5.21	2.76	15.49	3.90	2.24	2.74	0.31
803A×雅恢 2115 803A×Yahui 2115	—9.85	2.62	—10.53	—8.49	—8.02	—12.05	—0.07	—1.66	2.67
803A×乐恢 188 803A×Lehui 188	—4.08	—6.72	—3.46	—7.83	—0.75	4.43	—1.41	4.26	—18.47
803A×宜恢 1577 803A×Yihui 1577	0.16	—6.17	4.31	6.06	3.73	3.37	1.69	—2.78	9.82

将 30 个组合的特殊配合力效应结合其亲本的一般配合力效应值进行综合分析发现,在不同施氮水平下,亲本的一般配合力效应高低与特殊配合力效应无必然联系。一般配合力高的亲本其所配组合的特殊配合力效应值会出现高、中、低 3 种情况,可见一般配合力效应值高的亲本,其组合的特殊配合力效应并不一定高。由于产量性状的特殊配合力效应表现异常复杂,因此在杂交水稻育种中,采用广泛的测交来筛选和评鉴组合是十分必要的。

2.3 水稻不育系和恢复系及其互作对 F₁ 各性状方差的贡献率及遗传力

为了更深入地了解不育系和恢复系及其互作对水稻杂种后代性状的影响,根据随机模型估算各亲

本产量性状的一般配合力效应方差和特殊配合力效应方差(V_P)及其在 F_1 基因型总方差(V_T)中的比重(V_P/V_T),结果见表 4。由表 4 可知,在不同施氮水平下,恢复系的一般配合力效应方差总体上大于不育系。低氮水平下亲本基因的加性效应对 F_1 产量性状影响较大,而在正常施氮和高氮水平下,亲本基因的非加性效应对 F_1 产量性状影响较大。在正常施氮水平下,双亲一般配合力基因型方差($V_{P1} + V_{P2}$)在穗粒数、结实率和千粒质量中所占比重均在 50% 以上,说明亲本基因的加性效应对杂种 F_1 穗粒数、结实率和千粒质量的形成起主导作用;特殊配合力基因型方差在产量和有效穗数中的比重较大($V_{P12}/V_T > 50\%$),表明产量和有效穗数受基因的非

加性效应影响较大。在低氮水平下,双亲一般配合力基因型方差($V_{P1}+V_{P2}$)在产量、结实率中所占比重均在 50%以上,说明亲本基因的加性效应对杂种 F_1 产量和结实率的形成起主导作用;特殊配合力基因型方差在有效穗数、穗粒数和千粒质量中的比重较大($V_{P12}/V_T>50\%$),表明不育系和恢复系基因的互作对杂种 F_1 有效穗数、穗粒数和千粒质量的形成影响较大。在高氮水平下,双亲一般配合力基因型方差($V_{P1}+V_{P2}$)在有效穗数和千粒质量中所占比重均在 50%以上,说明亲本基因的加性效应对杂种 F_1 有效穗数和千粒质量的形成起主导作用;特殊配合力基因型方差在产量、穗粒数和结实率中的比重较大($V_{P12}/V_T>50\%$),表明产量、穗粒数和结实率受

基因的非加性效应影响较大。

根据配合力方差分析结果估算了 3 个氮素水平下 6 个不同产量性状的广义遗传力和狭义遗传力^[18],结果见表 4。由表 4 可以看出,低氮和高氮条件下的产量性状均比正常施氮更易受环境影响。在正常氮素水平下,千粒质量、结实率和穗粒数的狭义遗传力 $>50\%$,受亲本的加性效应影响较大。在低氮水平下,所有产量性状的狭义遗传力和广义遗传力均小于正常施氮水平,且狭义遗传力均 $<50\%$,说明在低氮条件下,各产量性状均受环境影响较大。在高氮水平下,除千粒质量和有效穗数外,其他产量性状的狭义遗传力均较低,受环境影响较大。

表 4 水稻不育系和恢复系及其互作对 F_1 各性状方差的贡献率及遗传力

Table 4 Contribution ratio and heritability of sterile line,restorer and their interaction to different traits of F_1 generation

施氮水平 N-level	性状 Trait	$(V_{P1}+V_{P2})/V_T$	V_{P1}/V_T	V_{P2}/V_T	V_{P12}/V_T	H_B^2	H_N^2
N	产量 Grain weight	42.82	22.48	20.34	57.18	92.44	39.59
	有效穗数 Effective panicle	32.78	24.59	8.19	67.22	60.47	19.82
	穗粒数 Spikelets panicle	62.34	4.51	57.82	37.66	90.97	56.71
	结实率 Seed set rate	66.67	44.44	22.22	33.33	84.05	57.10
	千粒质量 1 000-grain weight	88.84	64.36	24.48	11.16	90.58	80.47
N－	产量 Grain weight	55.64	54.20	1.44	44.36	68.13	37.91
	有效穗数 Effective panicle	5.00	5.00	0.00	95.00	37.96	1.90
	穗粒数 Spikelets panicle	29.45	21.29	8.16	70.55	68.93	20.30
	结实率 Seed set rate	60.00	40.00	20.00	40.00	40.74	25.32
	千粒质量 1 000-grain weight	45.49	38.69	6.80	54.51	59.30	26.97
N＋	产量 Grain weight	23.68	23.68	0.00	76.32	97.07	22.99
	有效穗数 Effective panicle	55.70	55.70	0.00	44.30	62.31	34.71
	穗粒数 Spikelets panicle	12.36	9.45	2.91	87.64	34.47	4.26
	结实率 Seed set rate	25.00	17.19	7.81	75.00	92.49	23.36
	千粒质量 1 000-grain weight	65.18	47.24	17.94	34.82	71.84	46.83

注:“ V_{P1} 、 V_{P2} 、 V_{P12} 、 V_T ”分别表示恢复系、不育系、不育系与恢复系互作和 F_1 的方差。“ H_B^2 和 H_N^2 ”分别表示广义遗传力、狭义遗传力。
Note: V_{P1} , V_{P2} , V_{P12} , and V_T represent significance at the variance of restorer, sterile line, sterile line $\times$ restorer, and F_1 , respectively. H_B^2 and H_N^2 represent significance at the broad-sense heritability and narrow-sense heritability respectively.

3 讨 论

3.1 不同施氮水平对水稻产量性状配合力的影响

前人对杂交水稻不育系、恢复系之间一般配合力和特殊配合力共同作用于杂交组合的产量性状都有较深入的研究,但研究结果不尽相同。彭俊华等^[19]研究发现,特殊配合力优良的组合一般都有一个一般配合力高的亲本,而朴钟泽等^[12]和杨国涛等^[20]则认为,一般配合力与特殊配合力之间没有明显的对应关系。本研究发现,在不同施氮水平下,不育系和恢复系互作效应对各产量性状的影响均达到极显著水平。在正常施氮水平下,不育系对杂交水

稻产量性状的影响高于恢复系,但在低氮和高氮水平下,恢复系对杂交水稻产量性状的影响均高于不育系。亲本产量性状一般配合力效应在不同施氮水平均与其组合的特殊配合力效应无必然的对应关系,产量特殊配合力效应值较高的组合,其亲本一般配合力效应值组合分别为高/低、低/低、中/高和低/低,特殊配合力效应值较低的组合,其亲本一般配合力效应值也是高低不一。

3.2 不同施氮水平下影响水稻产量配合力的因素

李录久等^[21]研究表明,氮肥对低产水稻产量及其构成因素有明显影响,合理增施氮肥,水稻分蘖数和成穗数增加,每穗粒数明显增多,结实率提高,千

粒质量有所增长,最终提高了水稻产量。本试验发现,不同施氮水平下,同一亲本的产量性状一般配合力效应差异显著。其中氮素不敏感类型亲本,如川农 1A、乐恢 188,在不同氮肥水平下产量性状一般配合力效应均较高,其对氮肥环境的适应能力较强,在不同氮素水平下均保持了较高的产量;喜中低氮类型亲本,如 803A、冈 46A、绵恢 4761,在中低氮环境下产量一般配合力效应远大于高氮环境,其主要是在高氮水平下,千粒质量或穗粒数的一般配合力降低导致水稻产量性状的一般配合力效应值降低;喜高氮类型亲本,如浙 8010A、宜香 1A、绵恢 662、雅恢 2115,仅在高氮水平下表现较高的产量,其主要是在低氮条件下穗粒数或有效穗数的配合力下降导致产量的一般配合力效应值降低。

3.3 不同施氮水平对水稻产量性状遗传力的影响

前人研究表明,恢复系和不育系的多数产量性状都受环境的影响较大,不同产量性状的加性效应和非加性效应受环境的影响是不同的^[18,22]。本研究在不同氮素水平下分析了不育系和恢复系互作对 F₁ 各性状方差的贡献率及遗传力,结果表明在不同施氮水平下,各产量性状受亲本基因加性效应的影响各不相同,且在不同氮素水平下,恢复系的一般配合力效应方差总体上大于不育系,表明恢复系的作用在产量性状方面高于不育系。在低氮和高氮水平下,各产量性状的狭义遗传力均低于正常施氮水平,且低氮和高氮水平下各产量性状的狭义遗传力均低于 50%。因此,氮素水平过高或过低,都会导致亲本的非加性效应增强,使环境对各产量性状的影响增大。

本研究结果表明,在本试验条件下,低氮水平下 803A、冈 46A、绵恢 4761 的产量配合力较高;高氮水平下浙 8010A、宜香 1A、绵恢 662、雅恢 2115 的产量配合力较高;川农 1A、乐恢 188 对氮肥反应相对不敏感,在不同施氮水平下的产量配合力均较高。因此在针对不同生态区选育优质高产的水稻杂交组合时,品种筛选试验田必须选择相适应的氮素水平。

〔参考文献〕

[1] 孙园园,孙永健,杨志远,等. 不同形态氮肥与结实期水分胁迫对水稻氮素利用及产量的影响 [J]. 中国生态农业学报,2013,21(3):274-281.
Sun Y Y,Sun Y J,Yang Z Y,et al. Nitrogen use efficiency and yield of rice under different nitrogen and water stress conditions at grain-filling stage [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture,2013,21(3):274-281.

[2] 侯云鹏,韩立国,孔丽丽,等. 不同施氮水平下水稻的养分吸收、转运及土壤氮素平衡 [J]. 植物营养与肥料学报,2015,21(4):836-845.
Hou Y P,Han L G,Kong L L,et al. Nutrient absorption, translocation in rice and soil nitrogen equilibrium under different nitrogen application doses [J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer,2015,21(4):836-845.
[3] Borlaug N E,Dowswell C R. Feeding a human population that increasingly crowds a fragile planet [C]. Acapulco, Mexico: 15th World Congress of Soil Science,1994.
[4] 李 敏,罗德强,江学海,等. 高产氮高效粳稻品种的光合生产特性 [J]. 中国稻米,2015,21(4):65-67.
Li M,Luo D Q,Jiang X H,et al. High yield and nitrogen efficiency of indica rice photosynthesis [J]. China Rice,2015,21(4):65-67.
[5] 范仲学,王 璞,梁振兴. 谷类作物的氮肥利用效率及其提高途径研究进展 [J]. 山东农业科学,2001(4):47-50.
Fan Z X,Wang P,Liang Z X. The revitalization of cereal crop nitrogen use efficiency and improving ways of research progress [J]. Shandong Agricultural Sciences,2001(4):47-50.
[6] 胡明芳,田长彦,吕昭智,等. 氮肥施用量对新疆棉花产量及植株和土壤中硝态氮含量的影响 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2006,34(4):63-67.
Hu M F,Tian C Y,Lü Z Z,et al. Effects of N rate on cotton yield and nitrate-N concentration in plant tissue and soil [J]. Journal of Northwest A&F University(Natural Science Edition),2006,34(4):63-67.
[7] 莫钊文,李 武,段美洋,等. 减氮对华南早晚兼用型水稻产量、品质及氮吸收利用的影响 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2014,42(9):83-90.
Mo Z W,Li W,Duan M Y,et al. Effects of reducing nitrogen fertilizer on the yield,quality and N uptake and utilization of early/late season rice in South China [J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition),2014,42(9):83-90.
[8] 赵秉强. 传统化肥增效改性提升产品性能与功能 [J]. 植物营养与肥料学报,2016,22(1):1-7.
Zhao B Q. Modification of conventional fertilizers for enhanced property and function [J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer,2016,22(1):1-7.
[9] Xu F X,Xiong H,Zhang I,et al. Variation of nitrogen uptake and utilization efficiency of midseason hybrid rice at different ecological sites under different nitrogen application levels [J]. Agric Sci & Technol,2011,12(7):1001-1009.
[10] 徐新朋,周 卫,梁国庆,等. 氮肥用量和密度对双季稻产量及氮肥利用率的影响 [J]. 植物营养与肥料学报,2015,21(3):763-772.
Xu X P,Zhou W,Liang G Q,et al. Effects of nitrogen and density interactions on grain yield and nitrogen use efficiency of double-rice systems [J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer,2015,21(3):763-772.
[11] Huang M,Chen J N,Cao F B,et al. Improving physiological

- N-use efficiency by increasing harvest index in rice; a case in superhybrid cultivar Guiliangyou 2 [J]. Archives of Agronomy and Soil Science, 2016, 62(5): 725-743.
- [12] 朴钟泽, 韩龙植, 高熙宗, 等. 水稻干物质质量和氮素利用效率性状的配合力分析 [J]. 中国水稻科学, 2005, 19(6): 527-532.
Piao Z Z, Han L Z, Gao X Z, et al. Analysis on combining ability of dry weight and nitrogen use efficiency in rice [J]. Chinese Journal of Rice Science, 2005, 19(6): 527-532.
- [13] 黄明, 谢放鸣, 陈立云, 等. 水稻产量和抽穗期性状的配合力效应分析 [J]. 福建农林大学学报(自然科学版), 2013, 42(2): 119-126.
Huang M, Xie F M, Chen L Y, et al. Combining ability effects of yield and heading traits in rice [J]. Journal of Fujian Agriculture and Forestry University (Natural Science Edition), 2013, 42(2): 119-126.
- [14] Huang M, Chen L Y, Chen Z Q. Diallel analysis of combining ability and heterosis for yield and yield components in rice by using positive loci [J]. Euphytica, 2015, 205: 37-50.
- [15] Ahangar L, Ranjbar G A, Nouroozi M, et al. Estimation of combining ability for yield and yield components in rice (*Oryza sativa* L.) cultivars using diallel cross [J]. Pak J Biol Sci, 2008, 11(9): 1278-1281.
- [16] Allahgholipour M, Farshdfer E, Rabiei B. Combining ability and heritability of selected rice varieties for grain yield, its components and grain quality characters [J]. Genetika-Belgrade, 2015, 47(2): 559-570.
- [17] 唐启义, 冯明光. 实用统计分析及其计算机处理平台 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1997: 34-98.
Tang Q Y, Feng M G. Practical statistical analysis and computer processing platform [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1997: 34-98.
- [18] 赵芳明, 杨正林, 查仁明, 等. 早、晚期水稻不育系、恢复系产量性状的配合力及遗传力分析 [J]. 西南农业学报, 2008, 21(2): 250-256.
- Zhao F M, Yang Z L, Cha R M, et al. Analysis of combination ability and genetic difference between the early-stage and late-stage sterile lines and restorers in rice [J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2008, 21(2): 250-256.
- [19] 彭俊华, 曾得初, 龙太康, 等. 应用不完全双列杂交法协作选配杂交水稻新组合的研究: II. 数量性状配合力和遗传力的分析 [J]. 西南农业学报, 1996, 9(3): 12-20.
Peng J H, Zeng D C, Long T K, et al. Application incomplete diallel hybridization cooperatively breeding hybrid rice new combination research: II. Quantitative traits, combining ability and heritability analysis [J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 1996, 9(3): 12-20.
- [20] 杨国涛, 谢崇华, 李海青, 等. 杂交水稻产量性状胞质效应的配合力分析 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2010, 38(8): 55-60.
Yang G T, Xie C H, Li H Q, et al. Analysis of cytoplasmic effects on combining ability of yield of hybrid rice [J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition), 2010, 38(8): 55-60.
- [21] 李录久, 王家嘉, 吴萍萍, 等. 秸秆还田下氮肥运筹对白土田水稻产量和氮吸收利用的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(1): 254-262.
Li L J, Wang J J, Wu P P, et al. Effect of different nitrogen application on rice yield and N uptake of white soil under wheat straw turnover [J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2016, 22(1): 254-262.
- [22] 余守武, 尹建华, 刘宜柏, 等. 三交水稻的育种研究: III. 三交中晚稻主要农艺性状的配合力和遗传力分析 [J]. 作物学报, 2005, 31(6): 784-789.
Yu S W, Yin J H, Liu Y B, et al. Study on breeding of three-way hybrid rice (*Oryza sativa* L.): III. Analysis on the combining ability and heritability of main agronomic traits of three-way hybrid rice in mid-late season cropping [J]. Acta Agronomica Sinica, 2005, 31(6): 784-789.