

杂交水稻产量性状胞质效应的配合力分析

杨国涛, 谢崇华, 李海青, 胡运高, 陈永军, 张 玲

(西南科技大学 水稻研究所, 四川 绵阳 621010)

[摘要] **【目的】**研究不同杂交水稻产量性状的胞质效应配合力, 为杂交水稻不育细胞质的多样性利用提供依据。**【方法】**以优质高配合力三系杂交水稻保持系 803B 为核供体, 选择 5 个高配合力恢复系, 比较 5 种不育胞质对杂交水稻产量、结实率、穗长、有效穗数、穗粒数、千粒质量等产量相关性状影响的配合力效应, 并分析不同胞质对杂种 F_1 代的遗传贡献率。**【结果】**细胞质效应在产量、有效穗数、穗长和千粒质量方面的差异达到了显著和极显著水平, 对穗粒数和结实率影响不显著; 同时, 细胞质和恢复系互作对杂交水稻产量的遗传贡献率最大。A1、A2 型细胞质和 R1、R4 恢复系是一般配合力效应较高的亲本, 其组合中出现具有较高特殊配合力效应组合的几率也较大, JW803A/蜀恢 527 在所有杂交组合中产量最高。**【结论】**杂交水稻新质源 JW 型细胞质具有较高的产量一般配合力效应值, 进一步发掘和利用 JW 型细胞质源, 对选育高产杂交水稻组合及丰富杂交水稻遗传多样性具有重要的现实意义。

[关键词] 杂交水稻; 同核异质不育系; 胞质效应; 配合力; 产量性状

[中图分类号] S511.03

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2010)08-0055-06

Analysis of cytoplasmic effects on combining ability of yield of hybrid rice

YANG Guo-tao, XIE Chong-hua, LI Hai-qing, HU Yun-gao,

CHEN Yong-jun, ZHANG Ling

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

Abstract: **【Objective】** Study on cytoplasmic effects of combining ability of yield traits of different hybrid rice aimed to provide the basis for the use of diversity in hybrid cytoplasm. **【Method】** Using three-line hybrid rice maintain line 803B which is of high-quality and high combining ability as the nuclear donor, five high combining ability restorer lines were selected, five kinds of sterile cytoplasm on hybrid rice production, seed set, spike length, number of effective panicles, panicle grain number, grain weight and other yield-related traits combining ability effects compared, and the genetic contribution of different cytoplasm on the hybrid F_1 analyzed. **【Result】** The results show that cytoplasmic effects on production, effective ear, ear length and grain weight differed significantly and very significantly, but no significant effect on spikelets panicle and seed set percentage was observed. Interaction between cytoplasm and restorer had the largest contribution to yield. JW-cytoplasmic had a high yield GCA values, and special combining ability effect value. JW803A/Shuhui527 had the maximum yield. **【Conclusion】** Hybrid rice new cytoplasm JW has high production of general combining ability effects, and further exploration of and utilization of JW cytoplasm on breeding high-yield hybrid rice combinations and rich genetic diversity of hybrid rice has important practical significance.

* [收稿日期] 2010-02-02

[基金项目] 四川省“十一五”育种攻关项目(YZGG2006-1); 绵阳市科技计划项目(09zd2103); 西南科技大学研究生创新基金项目(09ycjj01)

[作者简介] 杨国涛(1982—), 男, 山东济南人, 实习研究员, 在读硕士, 主要从事水稻遗传育种研究。E-mail: swust. rri@163.com

[通信作者] 张 玲(1959—), 女, 四川绵阳人, 副教授, 主要从事水稻生理研究。E-mail: zhangling@swust.edu.cn

Key words: hybrid rice; heterogeneous nuclear male sterility; cytoplasmic effect; combining ability; yield trait

三系杂交水稻主要是利用质核互作雄性不育系与高配合力恢复系间杂种优势选育的水稻品种,其中不育系细胞质对杂种 F₁ 代主要性状具有明显的遗传效应^[1-2]。研究认为,杂交水稻的雄性不育系细胞质对其主要经济性状存在负效应或变劣效应,且这种效应在不同胞质间存在明显差异^[3-6]。研究还发现,不同水稻雄性不育细胞质对杂交水稻的抗病性也有一定影响^[7-8]。目前,我国培育的不同细胞质源的水稻雄性不育类型已达 60 种以上,但在生产上应用的主要以野败型为主(约占 80%),这种细胞质单一化的结果有可能导致某种遗传脆弱性(Genetical autnerability)的出现,从而给水稻生产带来严重威胁。蔡善信^[6]对 4 种籼稻和 4 种野生稻胞质效应的研究表明,栽培籼稻的胞质效应优于野生稻。因此,不论是选育强优组合,还是防止或减轻病害大流行,选育优良雄性不育新胞质在水稻三系育种研究中都具有重要作用。

JW803A 是西南科技大学水稻研究所选育的具有爪哇稻品种 *Varylanva* 胞质的新质源不育系,命名为 JW 型,其细胞质线粒体与野败型、D 型不育胞质存在明显差异^[9]。张玲等^[10-11]研究发现,同核异质不育系野败型 803A 和 JW 型 803A 在产量、光合特性和氮素利用方面也存在较大差异。为进一步研究不同胞质对杂交水稻主要性状的影响,本研究选用水稻生产上常用的野败型、JW 型、冈型、K 型、印水型等 5 种不育胞质构建同核异质不育系,研究不同胞质杂交水稻产量性状的配合力效应,以期对杂交水稻不育细胞质的多样性利用提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

本试验选用生产上广泛应用的野败型、JW 型、

冈型、K 型、印水型等 5 种胞质类型的不育系,以高配合力优质保持系 803B 为核供体,转育一套同核异质不育系,分别定名为 A1~A5。2008 年冬,在海南陵水用这批核置换 8 代的同核异质不育系分别与 5 个高配合力恢复系蜀恢 527 (R1)、绵恢 2009 (R2)、成恢 178(R3)、R21(R4)、绵恢 725(R5),按 5×5 不完全双列杂交配制 25 个组合。2009-04-03,在西南科技大学农园试验基地播种,05-12 栽插,规格 33.5 cm×16.67 cm,5 行区,每行 10 穴,3 次重复。试验田土壤全氮含量 1.98 g/kg,速效氮 80.3 mg/kg,速效磷 43.3 mg/kg,速效钾 76.2 mg/kg。

1.2 测定项目及方法

水稻成熟后,对各小区按平均分蘖数取有代表性的植株考种,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。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)进行^[12]。在 Excel2003 中进行数据整理,用 SPSS 11.5、SAS8.0 数据分析软件进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 产量性状及配合力的方差分析

表 1 结果表明,不育系细胞质效应在产量、有效穗数、穗长和千粒质量等性状上的差异达到了显著或极显著水平。恢复系效应在各性状上的差异均达极显著水平,且都大于胞质效应方差,表明相对恢复系而言,细胞质效应对杂交水稻产量性状的影响较小。细胞质效应、恢复系效应、细胞质和恢复系互作效应在有效穗数、穗长和穗粒数等性状上的差异显著程度不同,如恢复系效应差异均为极显著,而细胞质和恢复系互作效应的差异显著性程度较低,表明在研究细胞质效应时,选择适宜的恢复系是十分重要的。

表 1 水稻不育系胞质效应、恢复系效应及其互作的方差及配合力方差分析

Table 1 Effect of rice sterile lines, restorer effects and their interaction of variance and combining ability analysis of variance

变异来源 Source of variation	自由度 df	产量 Grain weight	有效穗数 Effective panicle	穗长 Panicle length	穗粒数 Spkelets panicle	结实率 Seed set percentage	千粒质量 1 000-grain weight
重复 Reptition	2	558.04	0.19	1.07	1.82	0.15	0.11
胞质 Cytoplasm	4	845.40**	3.61**	2.91*	207.58	4.64	1.19**
恢复系 Restorer	4	2 988.13**	43.21**	27.76**	4 000.59**	72.44**	17.09**
胞质×恢复系 Cytoplasm×Restorer	16	1 239.32**	1.04	1.13	186.31*	5.68**	0.64**
误差 Error	50	333.06	0.43	1.57	80.41	2.01	0.16

注:“* , **”分别表示 P=0.05 和 0.01 显著水平。
Note:“* , **”represents significance at the P=0.05 and 0.01 levels, respectively.

2.2 细胞质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,一般配合力效应在同一亲本各性状间及同一性状各亲本间存在明显差异,表明不同亲本在各性状上的加性效应大小是不同的。A2 型细胞质在产量、有效穗数、穗长和穗粒数等性状上具有较高的一般配合力。A1 型细胞质在有效穗数性状上具有较高的一般配合力效应。A4 型细胞质在穗长性状上的一般配合力效应较为突出。A3 型细胞质和 A5 型细胞质则具有较高的结实率一般配合力效应。恢复系 R1、R2、R4 对产量的一般配合力效

应相对较高,R3 和 R4 对有效穗数具有较高的一般配合力效应,R4 同时对结实率具有最高的一般配合力效应,而 R1 和 R2 则对穗粒数和千粒质量同时具有较高的一般配合力效应。R1、R2 和 R4 对产量都具有较高的一般配合力效应,但从不同产量构成因子的一般配合力效应分析,这 3 个恢复系对产量形成的影响途径不同,R1 和 R2 主要依靠较高的穗粒数和千粒质量效应,适于配制重穗型杂交稻,而 R4 主要依靠较高的有效穗数和结实率效应,适于配制穗数型杂交稻。

表 2 水稻细胞质及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 cytoplasm and restorer

亲本 Parent	产量 Grain weight	有效穗数 Effective panicle	穗长 Panicle length	穗粒数 Spkelets panicle	结实率 Seed set percentage	千粒质量 1 000-grain weight
A1	0.526 8	3.188 5	-1.422 8	-2.499 6	0.042 8	0.183 4
A2	2.122 8	3.566 1	1.644 8	2.244 5	-0.411 1	1.618 6
A3	-0.295 5	-0.705 8	0.241 7	1.621 5	0.409 8	-1.270 9
A4	-1.272 5	-1.448 7	1.448 7	0.577 2	-0.752 9	0.006 3
A5	-1.081 5	-4.600 0	-1.912 4	-1.943 6	0.711 4	-0.537 4
R1	2.537 9	-8.432 4	2.810 7	10.194 7	-1.502 1	6.139 4
R2	0.808 4	-6.042 6	4.883 9	5.353 2	-1.495 0	0.739 8
R3	-4.001 9	12.035 7	0.727 9	-6.488 6	-0.644 2	-1.903 1
R4	1.697 0	13.540 1	-8.357 9	-12.661 3	4.109 3	-4.868 5
R5	-1.041 4	-11.100 8	-0.064 6	3.602 0	-0.468 0	-0.107 5

由表 3 可见,同一胞质所配组合及同一组合不同性状间的特殊配合力差异很大,说明核基因和胞质基因互作共同控制着水稻的产量性状,且对不同性状的影响存在差异,表现了核质基因互作的多样性。产量特殊配合力效应值的变幅为-5.252 0~8.767 9,分析不同胞质对组合特殊配合力效应的影响发现,A2 胞质和 R4 恢复系所配组合的产量特殊配合力效应值大于 1 的组合数均最多,且均为 3 个组合。在所有组合中,A3R3 和 A2R1 在产量、有效穗数、穗粒数、结实率、千粒质量等性状上均具有较高的特殊配合力效应,因此这 2 个组合是产量性状特殊配合力得到较好结合的组合。

计算 25 个杂交水稻组合不同产量性状特殊配合力效应值的标准差,由表 3 可见,产量为 2.997 2,有效穗数为 3.250 9,穗长为 1.629 4,穗粒数为 3.577 4,结实率为 1.178 7,千粒质量为 1.408 9,表明核质互作效应对结实率影响较小,而对穗粒数影响较大。

结合一般配合力效应值分析发现,亲本的一般配合力效应高低与特殊配合力效应高低无必然联系。以产量的特殊配合力效应和一般配合力效应间

的关系为例,特殊配合力效应值在 3 以上的 5 个组合,即 A1R1、A2R1、A2R2、A3R3 和 A4R4 的亲本一般配合力效应值组合分别为中/高、高/高、高/中、低/低、低/高;而特殊配合力效应值较低的几个组合 A2R3、A3R4、A4R2、A5R3,其亲本的一般配合力效应值组合分别为高/低、低/高、低/中、低/低等,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,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,但从试验结果来看,由一般配合力效应较高的亲本得到较高特殊配合力效应值组合的几率较大,再次说明在实际育种工作中选择一般配合力较高的亲本可以提高选择效率。

2.3 胞质与恢复系互作对产量的影响

由表 4 可见,不同细胞质对产量的影响差异显著,但与不同的恢复系配合时,其对产量的影响差异不同。与 R1(蜀恢 527)配合时,A2(JW 型)和 A1(野败型)细胞质对产量的贡献显著大于其他胞质;与 R2(绵恢 2009)配合时,A2 细胞质所配组合的产量显著高于 A3(冈型)和 A4(K 型);与 R3(成恢

178)配合时,A3 细胞质效应显著优于其他胞质;与 R4(R21)配合时,A3 的细胞质效应又显著小于其他胞质;与 R5(绵恢 725)配合时,各细胞质的产量效应无明显差异。表明在比较不育系细胞质效应的研究中,必须选择多样化的的恢复系,否则会严重影响细胞质效应评价的准确性。

表 3 杂交水稻 25 个组合产量性状的特殊配合力效应

Table 3 SCA effects of different cross yields

杂交组合 Combination	产量 Grain weight	有效穗数 Effective panicle	穗长 Panicle length	穗粒数 Spkelets panicle	结实率 Seed set percentage	千粒质量 1 000-grain weight
A1R1	3.104 4	−0.130 0	2.065 9	0.103 3	0.973 1	−0.840 9
A1R2	0.561 5	−0.383 9	−2.526 2	−0.365 9	1.226 7	3.610 3
A1R3	−2.397 5	0.482 9	0.570 4	4.559 8	−1.112 2	−1.112 8
A1R4	−0.825 2	−1.393 0	0.101 0	0.071 1	0.606 6	−2.162 4
A1R5	−0.443 1	1.424 0	−0.211 0	−4.368 3	−1.694 3	0.505 8
A2R1	3.300 2	3.590 9	−0.090 0	5.141 1	1.935 1	0.720 8
A2R2	3.440 1	−4.680 5	−1.697 4	−2.142 5	−1.284 8	−2.194 0
A2R3	−5.252 0	0.953 4	1.050 7	−5.655 4	0.902 3	1.239 3
A2R4	1.174 0	0.842 0	0.738 2	6.517 9	−0.543 7	1.232 9
A2R5	−2.662 3	−0.705 8	−0.001 5	−3.861 1	−1.009 0	−0.999 0
A3R1	−2.126 5	2.191 7	−4.405 3	−1.992 4	−0.734 0	0.404 7
A3R2	−2.238 7	0.916 3	2.279 5	−1.398 9	−1.414 8	−0.423 6
A3R3	8.767 9	3.640 4	1.070 8	2.696 5	1.723 2	0.859 9
A3R4	−4.958 6	−5.200 6	−0.770 4	2.362 7	−0.528 0	−0.663 9
A3R5	0.555 9	−1.547 8	1.825 4	−1.667 9	0.953 7	−0.177 0
A4R1	−2.107 3	1.263 0	2.464 2	−0.132 1	−0.786 3	−0.082 2
A4R2	−3.056 7	0.730 6	−0.209 8	1.372 4	0.588 3	−1.353 1
A4R3	0.306 8	1.783 1	−1.861 1	−0.379 1	−2.307 2	−1.871 5
A4R4	3.115 7	−0.185 7	2.509 5	−2.333 3	1.065 4	3.085 5
A4R5	1.741 5	−3.590 9	−2.902 8	1.472 1	1.439 7	0.221 3
A5R1	−2.170 8	−6.915 6	−0.034 8	−3.119 9	−1.387 9	−0.202 3
A5R2	1.293 8	3.417 5	2.153 9	2.535 0	0.884 5	0.360 4
A5R3	−1.425 2	−6.859 8	−0.830 8	−1.221 8	0.793 9	0.885 2
A5R4	1.494 1	5.937 3	−2.578 2	−6.618 4	−0.600 4	−1.492 2
A5R5	0.808 0	4.420 5	1.289 8	8.425 2	0.309 9	0.448 9
标准差 SE	2.997 2	3.250 9	1.629 4	3.577 4	1.178 7	1.408 9

表 4 杂交水稻不同组合产量的比较

Table 4 Yield differences of hybrid rice combination

亲本 Parent	R1	R2	R3	R4	R5
A1	575.97 A	552.80 AB	510.65 B	550.09 A	537.31 A
A2	585.69 A	577.07 A	503.82 B	569.60 A	533.93 A
A3	543.13 B	533.14 B	566.76 A	523.21 B	538.27 A
A4	537.94 B	523.41 B	515.56 B	561.71 A	539.40 A
A5	538.63 B	548.04 AB	507.20 B	553.95 A	535.37 A

注:同列数据后标不同大写字母者表示差异达显著水平($P<0.05$)。

Note:Data followed by different letters in a column indicate significant difference within 0.05 level.

2.4 群体配合力的方差分析

为更深入地了解胞质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产量性状亲本基因型的一般配合力方差和特殊配合力方差(V_P)及其在 F_1 基因型总方差中的比重(V_P/V_T),所得结果见表 5。由表 5 可见,双亲一般配合力基因型方差($V_{P1}+V_{P2}$)在有效穗数、穗长、穗粒数、千粒质量中所占比重均在 50% 以上,因此,亲本基因的加性效应对杂种 F_1 这些性状的形成起主导作用;特

殊配合力基因型方差在产量和结实率中的比重较大($V_{P12}/V_T>50\%$),表明胞质和恢复系基因的互作对杂种 F_1 产量和结实率 2 个性状形成的影响较大。

从细胞质和恢复系方差所占比重分析,所有性状恢复系的一般配合力效应方差所占比重都大于细胞质效应,说明在产量性状上恢复系的作用大于细胞质的作用。细胞质效应方差所占比重除有效穗数和穗长外均小于零,进一步验证了细胞质效应对产量存在负作用的观点。

表 5 不育系、恢复系及其互作对 F₁ 各性状方差的贡献率

Table 5 Contribution ratio of the male,female and their interaction to the total variance of the characters in F₁ hybrids

性 状 Trait	V _{P1}	V _{P2}	V _{P12}	((V _{P1} +V _{P2})/ V _T)/%	(V _{P1} / V _T)/%	(V _{P2} / V _T)/%	(V _{P12} / V _T)/%
产量 Grain weight	−26.261 4	116.586 9	302.087 7	23.02	−6.69	29.71	76.98
有效穗数 Effective panicle	0.171 0	2.811 5	0.203 2	93.62	5.37	88.25	6.38
穗长 Panicle length	0.116 0	1.780 2	−0.144 3	108.24	6.62	101.61	−8.24
穗粒数 Spkelets panicle	−19.425 8	154.130 7	123.432 7	52.18	−7.53	59.71	47.82
结实率 Seed set percentage	−0.387 8	2.457 4	3.440 5	37.56	−7.04	44.60	62.44
千粒质量 1 000-grain weight	−0.041 9	0.711 1	0.499 1	57.28	−3.58	60.86	42.72

注:V_{P1}、V_{P2}、V_{P12}和 V_T(V_T=V_{P1}+V_{P2}+V_{P12})分别表示胞质、恢复系、胞质与恢复系互作及 F₁ 的总方差。
Note:V_{P1}、V_{P2}、V_{P12} and V_T(V_T=V_{P1}+V_{P2}+V_{P12})were expressed as cytoplasmic,male,cytoplasmic×male and F₁ total variance, respectively.

在本试验中,特殊配合力基因型方差所占比重在产量和结实率上均达 60%以上,表明同核异质杂交水稻恢复系基因与胞质基因的互作,在这些性状上所起的作用也不容忽视,筛选和利用水稻优良不育胞质对杂交水稻的发展仍然是非常重要的。

3 讨 论

3.1 一般配合力与特殊配合力对杂交水稻产量的影响

前人对杂交水稻不育系和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各个性状都有较深入的研究,但研究结果不尽相同^[11,13-18]。本研究在同核异质背景下研究不育胞质和恢复系的一般配合力和特殊配合力效应,发现在植株的各个性状上,胞质和恢复系的一般配合力效应和特殊配合力效应值的大小并无必然联系。如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可以为高/高、中/高、高/中、低/低、低/高等不同的组合方式,特殊配合力效应值较低组合亲本的一般配合力效应值也表现出同样的规律。可见,一般配合力效应值高的亲本,其组合的特殊配合力不一定高。但是在产量特殊配合力较高的组合中,大部分存在一个亲本具有较高的一般配合力效应值的现象。如产量特殊配合力效应大于 1 的 9 个杂交水稻组合中,有 6 个组合亲本之一具有较大的一般配合力效应值。这与前人在杂交水稻亲本配合力与杂交组合特殊配合力关系研究中得到的结果相似^[10-11,13]。可见,选择一般配合力高的亲本,在杂交水稻育种中可以提高获得高产组合的几率。本试验中的 JW 型细胞质和野败细胞质具有较高的一般配合力效应值,因此用这 2 个不育系胞质选育出高产组合的几率相对较大。在本试验中,25 个杂交水稻组合的具体产量也表明了 JW 型和野败型细胞质所配组合的产量相对较高。

3.2 水稻不育胞质效应的多样性及应用

我国目前生产上常用的杂交水稻品种,其不育系多为野败型胞质,这一方面增加了由于胞质过于单一造成的感染特定胞质类型水稻病害并使之流行的危险;另一方面,由于细胞质的遗传多样性导致不同杂交水稻不育细胞质在同一性状上以及同一细胞质在不同性状上的效应均存在差异^[18-20],这也使杂种优势潜力的发挥受到限制。

本研究结果表明,不同细胞质对杂交水稻产量、有效穗数、穗长和千粒质量影响较大,均达到极显著或显著水平,对穗粒数、结实率等性状影响不显著。从不同细胞质所配组合的实际产量分析,新质源 JW 型胞质在有效穗数、穗长、穗粒数和千粒质量等性状上具有较高的配合力效应值,其与 5 个恢复系配制的组合中,有 60%的组合产量排在第 1 位,明显高于其他 4 种胞质。研究新质源 JW 型胞质与其他类型水稻不育胞质的异同,对于杂交水稻胞质遗传多样性的研究和杂交水稻胞质多样化利用有积极的现实意义。

[参考文献]

[1] 曲衍进,余显权,赵福胜,等.不同籼型败育胞质对水稻杂种 F₁ 主要性状的影响[J].种子,2008,27(4):11-14.
Qu Y J,Yu X Q,Zhao F S,et al.Effects of different indica male sterility cytoplasm on F₁ major characters in rice[J].Seed,2008,27(4):11-14.(in Chinese)
[2] 孙 叶,顾燕娟,张宏根,等.水稻 3 种不育细胞质遗传效应的比较研究[J].扬州大学学报:农业与生命科学版,2006,27(2):1-4.
Sun Y,Gu Y J,Zhang H G,et al.Genetic effects of 3 different male sterile cytoplasm in rice[J].Journal of Yangzhou University:Agricultural and Life Science Edition,2006,27(2):1-4.(in Chinese)
[3] 占小登,曹立勇,翟虎渠,等.水稻同核异质广亲和不育系的选育及主要农艺性状分析[J].作物学报,2003,29(2):241-244.
Zhan X D,Cao L Y,Zhai H Q,et al.Development of isonuclear-allocytoplasmic CMS lines with wide compatibility in rice

- and their performance in main agronomic characters [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2003, 29(2): 241-244. (in Chinese)
- [4] 王文明, 文宏灿, 袁国良. 水稻雄性不育细胞质对杂交早稻产量性状的影响 [J]. *四川农业大学学报*, 1994, 12(3): 383-387.
Wang W M, Wen H C, Yuan G L. Effects of cytoplasmic male sterility(CMS) on the yield traits of early-season hybrid rice [J]. *Journal of Sichuan Agricultural University*, 1994, 12(3): 383-387. (in Chinese)
- [5] 曲衍进, 余显权, 赵福胜, 等. 6 个水稻同核异质雄性不育系的双列杂交试验 [J]. *西南农业学报*, 2008, 21(2): 257-261.
Qu Y J, Yu X Q, Zhao F S, et al. Diallel crosses test of six isonuclear alloplasmic CMS lines in rice [J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2008, 21(2): 257-261. (in Chinese)
- [6] 蔡善信. 水稻雄性不育细胞质效应的研究 [J]. *华南农业大学学报*, 1994, 15(1): 115-121.
Cai S X. Studies on effects of male sterile cytoplasm in rice [J]. *Journal of South China Agricultural University*, 1994, 15(1): 115-121. (in Chinese)
- [7] 沈君辉, 刘光杰, 黄得润, 等. 杂交稻抗二化螟的胞质遗传效应分析 [J]. *作物学报*, 2007, 33(9): 1399-1404.
Shen J H, Liu G J, Huang D R, et al. Genetic effects of cytoplasm and nucleoplasmic interaction on resistance to chilo suppressalis in hybrid rice [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2007, 33(9): 1399-1404. (in Chinese)
- [8] 史开兵, 黄小明, 陆作楣. 5 种主要籼稻不育系细胞质的胞质效应研究 [J]. *杂交水稻*, 2005, 20(3): 64-67.
Shi K B, Huang X M, Lu Z M. Studies on cytoplasmic effect of five types of main cytoplasmic male sterile lines in *indica* rice [J]. *Hybrid Rice*, 2005, 20(3): 64-67. (in Chinese)
- [9] 陈永军, 谢崇华, 张景荣, 等. 爪哇稻 Wanilava 细胞质雄性不育系的创建及 AFLP 指纹图谱分析 [J]. *中国水稻科学*, 2008, 22(1): 28-32.
Chen Y J, Xie C H, Zhang J R, et al. Breeding of cytoplasmic male sterile line derived from *Oryza sativa* subsp. *javanica* cv. Wanilava and its AFLP fingerprints [J]. *Chinese Journal of Rice Science*, 2008, 22(1): 28-32. (in Chinese)
- [10] 张玲, 杨国涛, 谢崇华, 等. 几个籼型杂交水稻光合特性的配合力研究 [J]. *南京农业大学学报*, 2009, 32(2): 5-9.
Zhang L, Yang G T, Xie C H, et al. Combining ability analysis for photosynthetic characters with NC II genetic mating design in *indica* rice [J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2009, 32(2): 5-9. (in Chinese)
- [11] 张玲, 杨国涛, 谢崇华, 等. 杂交水稻新质源不育系 JW803A 产量及其氮素利用效率配合力分析 [J]. *西北农林科技大学学报: 自然科学版*, 2008, 36(12): 53-58.
Zhang L, Yang G T, Xie C H, et al. Yield of new CMS line JW803A and its combining ability of nitrogen use efficiency [J]. *Journal of Northwest A&F University: Nat Sci Ed*, 2008, 36(12): 53-58. (in Chinese)
- [12] 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.
- [13] 谭美林, 冯明友, 张家洪, 等. 杂交水稻亲本主要农艺性状配合力及遗传力分析 [J]. *贵州农业科学*, 2009, 37(3): 6-8. (in Chinese)
- Tan M L, Feng M Y, Zhang J H, et al. Analysis on combining ability and heritability of major agronomic characters in hybrid rice parents [J]. *Guizhou Agricultural Sciences*, 2009, 37(3): 6-8. (in Chinese)
- [14] 黄凤林, 杨冬奇, 彭国兴, 等. 籼型三系杂交水稻品质性状配合力与遗传力研究 [J]. *作物研究*, 2009, 23(2): 67-70.
Huang F L, Yang D Q, Peng G X, et al. Study on combining ability and heritability of quality traits in three-line indica hybrid rice [J]. *Crop Research*, 2009, 23(2): 67-70. (in Chinese)
- [15] 李爱宏, 戴正元, 季红娟, 等. 籼型杂交水稻黑条矮缩病抗性配合力分析 [J]. *扬州大学学报: 农业与生命科学版*, 2009, 30(1): 73-77.
Li A H, Dai Z Y, Ji H J, et al. Analysis on the combining ability of resistance to rice black-streaked dwarf viral disease (RBSDV) in *indica* hybrid rice [J]. *Journal of Yang-zhou University: Agriculture and Life Science Edition*, 2009, 30(1): 73-77. (in Chinese)
- [16] 许旭明, 张受刚, 韦新宇, 等. 水稻籼梗交恢复系茎秆抗倒性的配合力分析 [J]. *中国农学通报*, 2009, 25(6): 47-53.
Xu X M, Zhang S G, Wei X Y, et al. Combining ability analysis for the lodging resistance of restorer lines stem from *Indica-japonica* cross of rice [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2009, 25(6): 47-53. (in Chinese)
- [17] 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.
Qi S W, Sheng X B. Analysis on combining ability and heritability of major agronomic characters in two line *indica* hybrid rice [J]. *Hybrid Rice*, 2000, 15(3): 38-40. (in Chinese)
- [18] 涂诗航, 张水金, 董瑞霞, 等. 籼型三系杂交水稻亲本主要农艺性状配合力及遗传力分析 [J]. *福建农林大学学报: 自然科学版*, 2008, 37(3): 230-234.
Tu S H, Zhang S J, Dong R X, et al. Analysis of combining ability and heritability of the major agronomic characters in some parents of three-line *indica* hybrid rice [J]. *Journal of Fujian Agriculture and Forestry University: Natural Science Edition*, 2008, 37(3): 230-234. (in Chinese)
- [19] 王文明, 周开达, 文宏灿, 等. 胞质效应在杂交水稻主要数量性状上的多样性 [J]. *中国水稻科学*, 1997, 11(2): 65-69.
Wang W M, Zhou K D, Wen H C, et al. The diversity of cytoplasmic effects on some quantitative traits in hybrid rice [J]. *Chinese Journal of Rice Science*, 1997, 11(2): 65-69. (in Chinese)
- [20] 汤述翥, 张亚东, 孙红芹, 等. 水稻同核异质广亲和不育系细胞质效应的研究 [J]. *作物学报*, 2003, 29(2): 202-207.
Tang S Z, Zhang Y D, Sun H Q, et al. Effects of CMS cytoplasm in isonuclear alloplasmic CMS lines with wide compatibility in rice [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2003, 29(2): 202-207. (in Chinese)