

杂交水稻新质源不育系 JW803A 产量及其氮素利用效率的配合力分析

张 玲, 杨国涛, 谢崇华, 陈永军

(西南科技大学 水稻研究所, 四川 绵阳 621000)

【摘要】 **【目的】** 研究不同杂交水稻亲本产量及氮素利用效率的配合力。**【方法】** 选用包括 JW803A 不育系在内的 5 个不育系(JW803A、803A、G46A、珍汕 97A、II-32A)和 5 个恢复系(绵恢 2040、涪恢 311、蜀恢 527、明恢 63、辐恢 838)配置不完全双列杂交, 对不同杂交组合的产量及氮素利用效率配合力进行分析。**【结果】** 氮素利用效率、氮素收获指数与产量的相关系数分别为 0.869 和 0.900, 均达到极显著水平。在以产量和氮素利用效率作为选择目标时, 803A、JW803A 和蜀恢 527 都属于 I 类亲本, 其中 JW803A/蜀恢 527 的产量优势最强, 并具有较好的氮素吸收利用率。**【结论】** 选用一般配合力高的亲本配组, 最有可能获得强优势组合。

【关键词】 新质源不育系 JW803A; 水稻; 氮素利用效率; 亲本利用价值; 一般配合力; 特殊配合力

【中图分类号】 S511.033

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2008)12-0053-06

Yield of new CMS line JW803A and its combining ability of nitrogen use efficiency

ZHANG Ling, YANG Guo-tao, XIE Chong-hua, CHEN Yong-jun

(Rice Research Institute, Southwest University of Science and Technology, Mianyang, Sichuan 621000, China)

Abstract: **【Objective】** The research studied the yields of the different hybrid rice parents and the combining ability of nitrogen use efficiency. **【Method】** The JW803A 5 male-sterile lines(803A, G46A, Zhenshan97A, II-32A) and 5 r-line(Mianhui 2040, Fuhui 311, Shuhui 527, Minghui 63, Fuhui 838) were selected by the way of 5×5 incomplete diallel cross design, and analysis was done on the outputs of the different hybrid combinations and the combining ability of nitrogen efficiency. **【Result】** The correlation coefficient of the nitrogen use efficiency, the nitrogen harvest index and the output respectively was 0.869 and 0.900, reaching an extremely remarkable level. Taking the output and the nitrogen use efficiency as goal, 803A, JW803A and Shuhui 527 all belonged to the I parents, the JW803A/Shuhui 527 output superiority was the strongest with a good nitrogen absorption rate. **【Conclusion】** Combining high ability parents is most likely to obtain superior combination.

Key words: JW803A; hybrid rice; nitrogen use efficiency; parent use value; general combining ability; special combining ability

我国是世界上主要的水稻生产国之一, 水稻种植面积约占世界水稻总种植面积的 20%, 占全国粮

食作物面积的 29%^[1]。氮肥是水稻生长的主要肥料, 近年来全球范围内氮肥用量越来越大, 据统计,

* [收稿日期] 2008-01-16

[基金项目] 四川省“十一五”育种攻关项目(2006-YZGG-1)

[作者简介] 张 玲(1959-), 女, 四川绵阳人, 副教授, 主要从事水稻遗传育种研究。E-mail: zhangling@swust.edu.cn

2002 年全球氮肥用量是 1960 年的 7 倍,但水稻氮素利用效率随着氮肥用量的增加而明显下降^[2]。氮肥利用率低和大量的氮素损失不仅增加了生产成本,而且还直接和间接地导致一系列环境问题,如地下水污染、江河湖泊的富营养化等。因此如何提高水稻氮肥利用率,已成为水稻生产和环境保护的热点。水稻品种的氮素需求量和有效利用率,在籼稻和粳稻间有较大差异,即便是相同亚种品种间的氮素利用效率也存在较大差异,并且因土壤质地不同,对氮素的吸收反应也不同^[2-6]。通过产量选择对生理氮素利用效率进行间接选择,无论在施氮区还是未施氮区均有显著效果,生理氮素利用效率在施氮和未施氮条件下均有明显的直接选择效果^[7]。803A 是西南科技大学水稻研究所选育的野败型优质不育系,JW803A 是该所选育的与 803A 同核异质的、具有爪哇稻品种 Varylanva 胞质的新质源不育系,其细胞质线粒体与野败型、D 型杂交水稻存在明显差异^[8],已于 2007-08 通过四川省农作物品种审定委员会组织的技术鉴定。本研究选用不同类型的水稻亲本,按照 NCII 法配制一套不完全双列杂交组合,在相同的高产栽培条件下,对水稻抽穗后干物质积累和氮素利用效率的配合力进行了分析,旨在探明其高产生理特性和氮素利用效率。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

试验选用 5 个不育系(A):803A(野败型)、JW803A(JW 型)、G46A(冈型)、珍汕 97A(野败型)和 II-32A(印水型);5 个恢复系(R):绵恢 2040、涪恢 311、蜀恢 527、明恢 63 和辐恢 838,均由西南科技大学水稻研究所提供。

2006 年配制 25 个不完全双列杂交组合:803A/绵恢 2040,803A/涪恢 311,803A/蜀恢 527,803A/明恢 63,803A/辐恢 838;JW803A/绵恢 2040,JW803A/涪恢 311,JW803A/蜀恢 527,JW803A/明恢 63,JW803A/辐恢 838;G46A/绵恢 2040,G46A/涪恢 311,G46A/蜀恢 527,G46/明恢 63,G46/辐恢 838;珍汕 97A/绵恢 2040,珍汕 97A/涪恢 311,珍汕 97A/蜀恢 527,珍汕 97A/明恢 63,珍汕 97A/辐恢 838;II-32A/绵恢 2040,II-32A/涪恢 311,II-32A/蜀恢 527,II-32A/明恢 63,II-32A/辐恢 838。

1.2 试验方法

2007-04-03 在西南科技大学农园试验基地播种,栽插,小区面积 20 m²,3 次重复。试验田土壤养

分含量:全 N 1.98 g/kg,速效 N 80.3 mg/kg,速效 P 43.3 mg/kg,速效 K 76.2 mg/kg。

1.3 测定项目及方法

根据供试水稻杂交组合的生育进程,分别在水稻抽穗期、灌浆中期(抽穗后 20 d)、成熟期每小区按平均分蘖数取样 3 株,于 105 ℃ 杀青 30 min,80 ℃ 烘干 72 h,测定各时期水稻各部位的干物质量;成熟后每小区取样 3 株,调查穗长、穗着粒数、结实率、千粒重、有效穗数、小区产量等农艺性状,并利用凯氏定氮法测定成熟期各部位的氮含量。依据程建峰等^[9]的方法,估算氮素吸收总量、氮素利用效率和氮素收获指数等指标。计算方法如下:

氮素利用效率 $NUE/(g \cdot g^{-1}) = \text{地上部干重} / \text{地上部氮素积累量}$;

氮素收获指数 $NHI = \text{稻谷产量} / \text{氮素吸收总量} \times 100\%$ 。

按张亚东等^[10]的方法分析一般配合力(GCA)和特殊配合力(SCA)效应,用 Excel2003、spss11.5 软件进行数据整理和统计分析。

2 结果与分析

2.1 杂交水稻组合产量、氮素利用效率、氮素收获指数的方差分析

杂交水稻组合产量、氮素利用效率(NUE)、氮素收获指数(NHI)的方差分析结果如表 1 所示。表 1 显示,所配 25 个杂交水稻组合间的产量、氮素利用效率、氮素收获指数差异均达极显著水平,说明各组合间存在遗传差异。除氮素利用效率外,母本×父本的产量和氮素收获指数的差异均达显著水平,说明这些性状受可遗传的基因加性效应控制,同时也受不可遗传的非加性效应影响。不育系(母本)和恢复系(父本)的产量、氮素利用效率和氮素收获指数的方差均明显大于母本×父本,说明基因加性效应在三系杂交稻杂种优势利用中具有重要作用,亲本选择对选配强优组合是极其重要的。母本的方差明显大于父本,说明在产量、氮素利用效率和氮素收获指数方面,不育系对组合的影响大于恢复系,因此选用一般配合力较高的不育系,是配组出高产、高氮素利用效率杂交组合的基础。

2.2 杂交水稻组合一般配合力(GCA)和特殊配合力(SCA)的效应分析

由表 2 可知,一般配合力效应在同一亲本不同性状间及同一性状不同亲本间存在明显差异,表明不同亲本在不同性状上其加性效应大小不同。综合

各性状一般配合力效应值来看,母本 JW803A 产量、氮素利用效率、氮素收获指数的一般配合力效应最大,803A 次之,说明 JW803A 和 803A 的一般配合力效应均明显大于其他 3 个不育系。父本蜀恢

527 产量、氮素利用效率、氮素收获指数的一般配合力效应最大,绵恢 2040 次之,明恢 63 各项指标的一般配合力效应均最小。

表 1 杂交水稻组合产量、氮素利用效率(NUE)、氮素收获指数(NHI)的方差分析结果

Table 1 Variance analysis for combining ability in the variations of NUE and NHI and grain yield

变异来源 Source of variation	产量 Grain Yield			氮素利用效率 NUE			氮素收获指数 NHI		
	自由度 df	方差 MS	F 值 F Value	自由度 df	方差 MS	F 值 F Value	自由度 df	方差 MS	F 值 F Value
区组 Reptition	2	1.52	0.001	2	4.01	0.11	2	1.02	0.05
组合 Combination	24	2 716.52	160.43**	24	100.44	33.86**	24	53.84	26.10**
不育系(母本)A	4	3 524.13	17.71*	4	75.05	12.02**	4	59.65	12.01**
恢复系(父本)R	4	1 106.95	5.56*	4	32.70	5.24**	4	27.94	5.63**
母本×父本 A×R	16	198.72	5.83*	16	14.75	2.15	16	4.97	2.41*
误差 Error	50	16.93	—	50	2.97	—	50	2.06	—

注: * 表示在 0.05 水平差异显著, ** 表示在 0.01 水平差异显著。下表同。

Note: * Correlation is significant at the 0.05 level. ** Correlation is significant at the 0.01 level. The same in the next table.

表 2 杂交水稻组合的一般配合力(GCA)和特殊配合力(SCA)的效应值

Table 2 GCA and SCA effects of the hybrid rice combination

指标 Index	不育系 A	SCA					GCA
		明恢 63 Minghui 63	辐恢 838 Fuhui 838	绵恢 2040 Mianhui 2040	涪恢 311 Fuhui 311	蜀恢 527 Shuhui 527	
产量 Grain yield	珍汕 97A Zhenshan 97A	0.75	-1.20	-0.98	2.25	-0.82	-1.90
	803A	-2.42	-2.29	1.25	-0.38	3.84	3.79
	JW803A	-3.06	-0.38	1.10	-1.14	3.48	6.28
	G46A	2.56	1.93	-0.87	-1.61	-2.01	-4.48
	II-32A	2.16	1.95	-0.50	0.89	-4.49	-3.68
氮素利用 效率 NUE	珍汕 97A Zhenshan 97A	0.13	-0.32	0.49	0.06	-0.37	-0.53
	803A	-0.28	-0.31	-0.33	0.08	0.84	0.65
	JW803A	-0.48	0.08	-0.45	0.09	0.87	0.93
	G46A	0.45	0.27	0.15	-0.20	-0.67	-0.44
	II-32A	0.18	-0.42	0.14	-0.03	0.13	-0.62
氮素收获 指数 NHI	珍汕 97A Zhenshan 97A	0.05	0.15	0.00	-0.01	-0.19	-0.55
	803A	0.02	-0.34	-0.09	0.01	0.41	0.64
	JW803A	-0.40	-0.46	0.07	-0.20	0.98	0.77
	G46A	0.10	0.19	0.16	0.07	-0.52	-0.54
	II-32A	0.23	0.46	-0.14	0.13	-0.69	-0.33
GCA	-0.45	-0.43	0.34	0.01	0.54		

从表 2 还可以看出,同一亲本所配组合以及同一组合不同性状间的特殊配合力效应差异很大,表明基因互作的多样性有差异。综合各性状来看, JW803A/蜀恢 527 和 803A/蜀恢 527 产量、氮素利用效率、氮素收获指数的特殊配合力效应值均相对较高。说明这两个组合的产量、氮素利用效率和氮素收获指数的非加性效应较强,是产量和氮素利用效率得到较好结合的组合。

对一般配合力和特殊配合力效应值进行比较分析发现,在产量、氮素利用效率、氮素收获指数特殊配合力效应值较高和较低的杂交组合中,其双亲产量、氮素利用效率、氮素收获指数的一般配合力效应

值高低不同。表明杂交组合特殊配合力效应的高低与双亲一般配合力效应高低无直接关系。双亲一般配合力效应高的杂交组合,其特殊配合力效应不一定高,如蜀恢 527 各性状一般配合力效应值均最大,但所配组合的特殊配合力效应值变化幅度较大,其中产量的变化在 -4.49~3.84、氮素利用效率变化在 -0.67~0.87、氮素收获指数变化在 -0.69~0.98。说明特殊配合力效应的表现较为复杂,难以用亲本的一般配合力效应来判断。

2.3 稻谷产量性状及氮肥利用有关性状的相关性分析

由表 3 可见,稻谷产量与氮素利用效率及氮素

收获指数均呈极显著正相关,说明氮素生理利用效率和氮素收获指数较高的水稻品种,一般表现为稻谷产量较高。

表 3 稻谷产量性状与氮肥利用有关性状的相关性分析结果

Table 3 Phenotypic correlation coefficient between grain yield and N-use efficiency

指标 Index	穗长 Panicle length	穗着粒数 Spikelets/ panicl	结实率 Seed-setting rate	千粒重 1000-grain weigh	有效穗数 Panicles/ plant	稻谷产量 Grain Yield	氮素利用 效率 NUE	氮素收获 指数 NHI
穗长 Panicle length	1							
穗着粒数 Spikelets/panicl	0.209	1						
结实率 Seed-settingrate	-0.042	-0.019	1					
千粒重 1000-grainweigh	0.305	-0.575**	0.031	1				
有效穗数 Panicles/plant	-0.196	-0.111	0.340	-0.365	1			
稻谷产量 Grain yield	0.380	0.400*	0.449*	-0.122	0.092	1		
氮素利用效率 NUE	0.471*	0.351	0.408*	0.082	0.128	0.869**	1	
氮素收获指数 NHI	0.443*	0.333	0.433*	-0.012	-0.037	0.900**	0.796**	1

由表 3 可见,稻谷产量与穗着粒数、结实率呈显著正相关;穗长、结实率与氮素利用效率和氮素收获指数均呈显著正相关。说明氮素收获指数高、穗大粒多、结实率高的水稻组合一般表现稻谷产量较高,具有较高的氮素利用效率,这与朴钟泽等^[4]的研究结果相符。本试验中,803A 和 JW803A 系列组合表现穗大粒多,结实率好,稻谷产量高,其氮素利用效率和氮素收获指数也相应较高。

2.4 杂交水稻组合亲本的特殊配合力方差

特殊配合力方差是亲本在参与的杂交组合中,对组合的特殊配合力作出贡献的潜在能力。特殊配合力方差大的亲本,在与其他亲本杂交时,有可能出现偏离一般配合力效应所估计的极端后代,这在杂交水稻育种利用中尤为重要。

由表 2 和表 4 可见,特殊配合力方差(\bar{O}_{AR}^2)因性状、亲本不同而存在较大差异。不育系 803A、JW803A、G46A、II-32A 产量的特殊配合力方差均较大,其中 JW803A 和 803A 的一般配合力效应均明显优于其他 3 个不育系,而且这两个不育系氮素利用效率的特殊配合力方差也较大,说明这两个不育系具有配制出高产和氮素吸收力强组合的潜力;在氮素收获指数方面,JW803A 和 803A 虽然都具有较高的一般配合力效应,但 JW803A 的特殊配合力方差明显大于 803A,说明从 JW803A 所配组合中有可能筛选出籽粒高氮素积累的组合,即蛋白质含量高的组合。恢复系中,蜀恢 527 各性状的特殊配合力方差均较大,其一般配合力效应也较高,是杂交水稻育种的一个优良亲本。

表 4 杂交水稻组合亲本的特殊配合力方差及所属类型

Table 4 SCA the \bar{O}_{AR}^2 and the type of parent

亲本 Parent	产量 Grain yield		氮素利用效率 NUE		氮素收获指数 NHI	
	特殊配合力方差	亲本利用价值分类	特殊配合力方差	亲本利用价值分类	特殊配合力方差	亲本利用价值分类
	\bar{O}_{AR}^2	Type of Parent	\bar{O}_{AR}^2	Type of Parent	\bar{O}_{AR}^2	Type of Parent
珍汕 97A Zhenshan 97A	2.17	IV	0.12	IV	0.01	IV
803A	6.88	I	0.25	I	0.07	II
JW803A	6.04	I	0.26	I	0.34	I
G46A	4.42	II	0.20	II	0.09	IV
II-32A	7.42	II	0.06	III	0.19	II
明恢 63 Minghui 63	6.75	II	0.14	II	0.06	IV
辐恢 838 Fuhui 838	3.59	II	0.26	II	0.15	II
绵恢 2040 Mianhui 2040	1.18	II	0.15	I	0.01	II
涪恢 311 Fuhui 311	2.47	III	0.02	IV	0.02	IV
蜀恢 527 Shuhui 527	12.95	I	0.33	I	0.48	I

2.5 杂交水稻组合亲本的利用价值

根据亲本各性状的 GCA 效应和 SCA 方差,按徐静斐等^[11]亲本利用价值的分类方法进行分(即 GCA 效应高,SCA 方差大的为 I 类;GCA 效应高,但 SCA 方差小的为 II 类;GCA 效应低,SCA 方差大

的为 III 类;GCA 效应低,SCA 方差小的为 IV 类),各不育系和恢复系各性状的分类结果列于表 4。由表 4 可见,按产量分:803A、JW803A、蜀恢 527 属 I 类亲本,为理想亲本;G46A、II-32A、明恢 63、辐恢 838、绵恢 2040 为 II 类亲本,为优良亲本;涪恢 311

为Ⅲ类亲本,只能利用其特殊配合力。按氮素利用效率分:803A、JW803A、绵恢 2040、蜀恢 527 属Ⅰ类亲本,G46A、明恢 63、辐恢 838 为Ⅱ类亲本。按氮素收获指数分:JW803A、蜀恢 527 属Ⅰ类亲本;803A、Ⅱ-32A、辐恢 838、绵恢 2040 为Ⅱ类亲本。由此可以看出,按照亲本的产量、氮素利用效率、氮素收获指数的一般配合力效应和特殊配合力方差大小对亲本进行评价,其结果基本一致。

3 结 论

杂交水稻亲本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,前人有关它们相互关系的研究结论并不完全一致。有研究认为,杂交水稻亲本特殊配合力与一般配合力表现基本一致,即一般配合力高的亲本,其组合特殊配合力也相应较高^[12];也有研究表明,一般配合力高的亲本,其组合特殊配合力不一定高^[13-16]。本试验中,803A、JW803A、蜀恢 527 一般配合力效应均较高,其组合的特殊配合力效应也较高;其他组合则表现为亲本一般配合力和组合特殊配合力效应不完全一致。可见亲本一般配合力和组合特殊配合力之间的关系,与所选亲本的特性及其比较的性状有关。在杂交水稻育种中,选择一般配合力效应较高的亲本广泛测交,以期最大限度地获得特殊配合力效应高的强优势组合。本试验中,JW803A、803A 和蜀恢 527 的产量、氮素利用效率、氮素收获指数一般配合力及其组合的特殊配合力效应均较高,属杂交水稻育种的理想亲本。

4 讨 论

通过培育和推广氮素利用效率较高的水稻新品种,以减少氮肥对环境的污染,是当前农业生产的热门话题。对于氮素利用效率的研究,近年来多数研究认为,许多农作物不同基因型间氮素利用效率存在显著差异^[17-21],本试验也得到相同的结论。但是片面追求氮高效而忽略高产,与 21 世纪人口增长所带来的粮食问题也不相符。因此,必须在兼顾产量的同时寻求氮高效的农作物新品种,以符合当今社会对粮食和环境的需求。本研究中,JW803A/蜀恢 527 和 803A/蜀恢 527 既具有较强的产量优势,又保持了较高的氮素利用效率,而且这两个组合的籽粒氮素积累率(氮素收获指数)均较高,即米质较好,是适合现代社会需求的杂交水稻新组合,这与该组合在大面积生产中的表现一致。

[参考文献]

- [1] 吴 昊,王绍华,李刚华,等. 不同类型水稻品种对稻田土壤基础供氮量的响应 [J]. 土壤通报,2007,38(2):281-285.
Wu H,Wang S H,Li G H,et al. Response of different types of rice plants to the basic soil nitrogen supply [J]. Chinese Journal of Soil Science,2007,38(2):281-285. (in Chinese)
- [2] 曾建敏,崔克辉,黄见良,等. 水稻生理生化特性对氮肥的反应及与氮利用效率的关系 [J]. 作物学报,2007,33(7):1168-1176.
Zeng J M,Cui K H,Huang J L,et al. Responses of physio-biochemical properties to N-Fertilizer application and its relationship with nitrogen use efficiency in rice [J]. Acta agronomica sinica,2007,33(7):1168-1176. (in Chinese)
- [3] 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 J Rice Sci,2005,19(6):527-532. (in Chinese)
- [4] 朴钟泽,韩龙植,高熙宗,等. 水稻不同基因型氮素利用效率差异 [J]. 中国水稻科学,2003,17(3):233-238.
Piao Z Z,Han L Z,Gao X Z. Variations of nitrogen use efficiency by rice genotype [J]. Chinese J Rice Sci, 2003,17(3):233-238. (in Chinese)
- [5] 杨靖民,王丽群,刘世杰,等. 吉林省不同水稻品种氮素效率研究 [J]. 吉林农业大学学报,2005,27(3):306-309,314.
Yang J M,Wang L Q,Liu S J,et al. Study on nitrogen uptake efficiency of different rice genotypes in Jilin Province [J]. Journal of Jilin Agricultural University,2005,27(3):306-309,314. (in Chinese)
- [6] 高 辉,张洪程,戴其根,等. 不同土种土壤氮素等养分与水稻基础产量的关系 [J]. 扬州大学学报:农业与生命科学版,2007,28(1):49-53.
Gao H,Zhang H C,Dai Q G,et al. Relations between soil nitrogen and other nutrients and rice basal yields in different soil local types [J]. Journal of Yangzhou University: Agricultural and Life Science Edition,2007,28(1):49-53. (in Chinese)
- [7] 朴钟泽,韩龙植,高熙宗,等. 水稻氮素利用效率的选择效果 [J]. 作物学报,2004,30(7):651-656.
Piao Z Z,Han L Z,Gao X Z,et al. Selection effect of nitrogen use efficiency in rice [J]. Acta agronomica sinica,2004,30(7):651-656. (in Chinese)
- [8] 陈永军,谢崇华,张景荣,等. 来源于爪哇稻 *Varylanva* 细胞质雄性不育系创建及其 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 J Rice Sci, 2008,22(1):28-32. (in Chinese)
- [9] 程建峰,戴延波,曹卫星,等. 不同类型水稻种质氮素营养效率的变异分析 [J]. 植物营养与肥料学报,2007,13(2):175-183.
Cheng J F,Dai T B,Cao W X,et al. Variations of nitrogen nutrition efficiency in different rice germplasm types [J]. Plant

- Nutrition and Fertilizer Science,2007,13(2):175-183. (in Chinese)
- [10] 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.
Zhang Y D,Zhu Z,Zhao L,et al. Analysis of combining ability and heritability of quality and yield characters in two line hybrid rice [J]. Southwest China Journal of Agricultural Science,2006,19(3):355-359. (in Chinese)
- [11] 徐静斐,孙五成,程融,等. 数量遗传学与水稻育种 [M]. 合肥:安徽科学技术出版社,1990.
Xu J F,Sun W C,Cheng R,et al. Quantitative genetics and breeding of rice [M]. Hefei: Anhui Science and Technology Publishing House,1990. (in Chinese)
- [12] 陈光辉,王建龙,周清明,等. 两系杂交水稻糙米率的配合力研究 [J]. 湖南农业大学学报:自然科学版,2007,23(5):518-521.
Chen G H,Wang J L,Zhou Q M,et al. Combining ability studies on brown rice percentage of rice hybrids by two-line method [J]. Journal of Hunan Agricultural University: Natural Sciences Edition,2007,23(5):518-521. (in Chinese)
- [13] 廖伏明,周坤炉,盛孝邦,等. 籼型三系杂交水稻主要农艺性状配合力研究 [J]. 作物学报,1999,25(5):622-631.
Liao F M,Zhou K L,Sheng X B,et al. Studies on combining ability of major agronomic characters in three-line indica hybrid rice [J]. Acta agronomica sinica,1999,25(5):622-631. (in Chinese)
- [14] 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)
- [15] 龚光明,周国锋,尹楚球,等. 籼型两用核不育系主要农艺性状的配合力分析 [J]. 中国水稻科学,1993,7(3):137-142.
Gong G M,Zhou G F,Yin C Q,et al. Indica dual-use nuclear male sterile line with the main agronomic traits analysis [J]. Chinese J Rice Sci,1993,7(3):137-142. (in Chinese)
- [16] 潘华,梁木根,贺浩华,等. 三个水稻不育系主要农艺性状配合力分析 [J]. 江西农业大学学报,2001,23(1):1-4.
Pan H,Liang M G,He H H,et al. Rice CMS three main agronomic traits with analysis [J]. Jiangxi Agricultural University Journal,2001,23(1):1-4. (in Chinese)
- [17] 宁堂原,焦念元,张民,等. 不同品种组合下春夏玉米套作的氮素利用特征研究 [J]. 作物学报,2007,33(11):1896-1901.
Ning T Y,Jiao N Y,Zhang M,et al. Nitrogen use characteristic in maize relay-cropping system of different cultivars [J]. Acta agronomica sinica,2007,33(11):1896-1901. (in Chinese)
- [18] 严小龙,张福锁. 植物营养遗传学 [M]. 北京:中国农业出版社,1995:40-46.
Yan X L,Zhang F S. Plant nutrition genetics [M]. Beijing: China Agriculture Publishing House,1995:40-46. (in Chinese)
- [19] 吴正风,高空军. 高油玉米子粒灌浆期间氮素的吸收与分配 [J]. 中国农业科学,2005,38(4):697-702.
Wu Z F,Gao K J. Uptake and partitioning of nitrogen in high oil corn during grain filling period [J]. Scientia Agricultura Sinica,2005,38(4):697-702. (in Chinese)
- [20] 张敏敏,翟丙年,宋翔,等. 冬小麦不同基因型氮素利用效率的差异及机理分析 [J]. 中国农学通报,2007,23(8):245-249.
Zhang M M,Zhai B N,Song X,et al. Difference and mechanism of nitrogen use efficiency (NUE) in different winter wheat genotypes [J]. China Agricultural Communications,2007,23(8):245-249. (in Chinese)
- [21] 李锦辉,李潮海. 不同基因型玉米氮素利用的机理研究 [J]. 核农学报,2007,21(2):173-176.
Li J H,Li C H. Nitrogen utilization mechanism of different genotype maize [J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences,2007,21(2):173-176. (in Chinese)