

三交水稻的育种研究

· 三交中晚稻杂种优势的比较研究

余守武^{1,2} 刘宜柏^{1,*} 尹建华² 胡标林² 杨平² 揭银泉^{2*}

(¹ 江西农业大学农学院, 江西南昌 330045; ² 江西省农业科学院水稻研究所, 江西南昌 330200)

摘要: 用 4 个纯合不育系菲 A、中 9A、金 23A 和珍汕 97A, 4 个杂合不育系菲 A/协青早 B、中 9A/协青早 B、金 23A/协青早 B 和珍汕 97A/协青早 B, 3 个恢复系 752、测 64-7 和优米 2 号, 按 8 × 3 NC 交配设计配制 24 个组合。比较研究了三交种的杂种优势及株高和抽穗期的变异程度。结果表明, 58.33% 的三交种比相应单交种具增产优势, 平均增产 6.11%。单株产量最高的为三交组合珍汕 97A/协青早 B//测 64-7, 其平均优势率为 60.29%, 最优优势率为 9.94%, 株高和抽穗期的变异系数也与相应单交种接近。说明三交中、晚稻具有较强的增产潜力, 可筛选出农艺性状整齐度符合生产要求的水稻三交组合。三交种的千粒重优势特别突出, 在中、晚稻育种上值得利用。

关键词: 三交; 杂交水稻; 杂种优势; 株高; 播始历期; 变异程度

中图分类号: S511

Study on Breeding of Three-way Hybrid Rice (*Oryza sativa* L.)

· Superiority of Three-way Cross to Single Cross Hybrid Rice in Mid-late Season Cropping

YU Shou Wu^{1,2}, LIU Yi Bai^{1,*}, YIN Jian Hua², HU Biao Lin², YANG Ping², JIE Yin Quan²

(¹ Agricultural College, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, Jiangxi; ² Rice Research Institute, Jiangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanchang 330200, Jiangxi, China)

Abstract: Four homozygous cms-lines FeiA, Zhong9A, Jin23A and Zhenshan97A, four heterozygous cms-lines FeiA/XieqingzaoB, Zhong9A/XieqingzaoB, Jin23A/XieqingzaoB and Zhenshan97A/XieqingzaoB, and three restorer lines 752, Ce64-7 and Youmi2 were used to make 8 × 3 = 24 F₁ hybrids including 12 single hybrids and 12 three-way hybrids. The results showed that the grain yield of three-way hybrid rice was increased by 6.11% as compared with the corresponding single cross hybrids on an average and 58.33% of the combinations had superiority. The grain weight per plant of Zhenshan97A/XieqingzaoB//Ce64-7 was the highest, its superiority rate and (SR and SR) were 60.29% and 9.94% respectively. The coefficient of variability of plant height and days to heading in three-way hybrids were close to those in corresponding single hybrids. It suggested that the three-way hybrid rice in mid-late season cropping will be preference in production. The 1 000-grain weight of three-way hybrid rice showed most outstanding superiority, and the attention should be paid in three-way hybrid rice breeding.

Key words: Three-way cross; Hybrid rice; Superiority; Plant height; Days to heading; Coefficient of variability

三交水稻,是以胞质不育系作母本,用另一个农艺性状互补并具有良好的不育保持能力的优良水稻品系作父本(称临时保持系)杂交产生杂种不育系,再与恢复系配组制种,产生供生产上利用的杂种。我国水稻三交杂种优势从 20 世纪 70 年代末开始研究和利用,但直到 90 年代初及 21 世纪也仅有少量报道^[1-7]。在玉米和高粱^[8-10]上研究稍多,在棉

花^[11]、小麦^[12,13]和油菜^[14,15]等作物上也有研究及应用。由于受到育种材料和不育系纯度等条件的限制,前人对三交稻的研究未能深入,但达成了三交法可大大提高杂交水稻制种产量的共识。最近袁利群等^[16]发表了早已通过湖北恩施州品种审定的水稻三交组合恩优 58 等的选育和抗性表现的报告。江西省也有一个三交晚稻组合“杂合 A906”于 2004 年

*基金项目: 江西省科技厅重点项目(021009)和江西省学科带头人培养计划项目(010006)。

作者简介: 余守武(1974-),男,江西省人,硕士,助理研究员,主要从事水稻遗传育种研究。*通讯作者(Author for correspondence): 刘宜柏,男,教授,主要从事水稻遗传育种研究。

Received(收稿日期): 2004-02-26, Accepted(接受日期): 2004-07-01.

3月通过了省品种审定,同年又有数个组合参加省区试。针对不育系少、抗性衰退、品质改良难等杂交水稻生产实际问题,笔者对三交水稻优势利用开展了较为系统的研究。主要包括三交早、中、晚水稻的杂种优势利用和配合力,杂合不育系与纯合不育系的开花习性等研究^[17]。本文就三交中、晚稻的杂种优势及其株高和抽穗期的变异进行了分析,并对三交种优势组合进行了初步筛选,旨在为三交水稻的育种研究提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

纯合不育系为菲 A (IR58025A)、中 9A、金 23A 和珍汕 97A,临时保持系为协青早 B,恢复系为 752、测 64-7 和优米 2 号,2001 年配制杂合不育系菲 A/协青早 B、中 9A/协青早 B、金 23A/协青早 B 和珍汕 97A/协青早 B。

1.2 方法

2001 年 12 月至 2002 年 4 月,在海南英州种植杂合不育系、不育系和恢复系材料。利用上述纯合不育系、杂合不育系与恢复系按 8 × 3 NC 交配设计配成 24 个组合。

田间试验在江西省农业科学院水稻所试验田进行。在海南配制的三交组合及相应单交组合和亲本材料于 2002 年 5 月 16 日播种,6 月 13 日移栽,随机区组排列,3 次重复,每一组合种 3 行,每行 10 株,单本植,株行距 13.33 cm × 20 cm,常规管理。对小区群体进行单株抽穗期观察,每天记载 1 次,以主茎穗顶露出剑叶叶鞘 1 cm 作为该株抽穗,单株在当日 18:00 以前抽穗作为该株的始穗期。以各株播种日期至始穗日期的天数作为该株播始历期,以各株播始历期的平均值作为该群体的播始历期。随机抽取 9 株,进行单株农艺性状考查。考种项目包括株高、单株产量、千粒重、结实率、每穗实粒数、每穗总粒数、有效穗数、主穗长、着粒密度(粒数/10 cm)、粒长、粒宽、长/宽比(每株测 10 粒,取平均值)、剑叶长、剑叶宽、剑叶角度(剑叶与主茎之间的夹角)。边株不计。所有数据处理在 PC 微机上完成。

杂种优势率按下列公式分析:

$$\text{优势率} = [(\text{三交种} - \text{相应单交种}) / \text{相应单交种}] \times 100\%$$

$$\text{最优优势率} = [(\text{三交种} - \text{最优单交种}) / \text{最优单交种}] \times 100\%$$

2 结果与分析

2.1 三交种的杂种优势表现及其与相应单交种主要经济性状的差异

2.1.1 产量及其构成因素的杂种优势 三交种优势率列于表 1。大部分三交种的单株产量表现出明显的优势,12 个三交组合中有 7 个表现为比相应单交组合增产,占供试组合的 58.33%,平均优势率为 6.61%,产量最高为三交组合珍汕 97A/协青早 B 测 64-7,比相应单交种增产 60.29%,比最优单交种增产 9.94%。在产量构成因素中,千粒重的杂种优势最为突出,有 11 个三交组合比其相应单交组合具有正优势,占供试组合的 92%以上,其中以 752 为恢复系的三交组合表现最好,增幅为 10.46% ~ 22.89%,平均优势率为 26.91%,且有 4 个三交组合的最优优势率为正。说明以协青早 B 为临时保持系可提高三交种的千粒重,而以 752 为恢复系的三交组合表现出更强优势。在结实率上,仅有 3 个三交组合比其相应单交组合具有正优势,说明以协青早 B 为临时保持系不利于三交种结实率的提高。在每穗实粒数方面,三交种比相应单交种多的有 5 个组合,且以珍汕 97A/协青早 B 为母本的三交种表现较好,说明三交种的每穗实粒数受杂合不育系影响最大。在每穗总粒数方面,三交种的优势与每穗实粒数的优势趋向一致,其中优势最大的是金 23A/协青早 B//测 64-7。在有效穗数方面,三交种比其相应单交种为正优势的有 8 个组合,占供试组合的 66.7%。而穗长相反,有 8 个三交种比其相应单交种为负优势。在着粒密度方面,三交种的优势率普遍为负值。

2.1.2 株型性状的杂种优势 在株高性状上,与其相应单交组合比,有 7 个三交组合为正优势(见表 1),平均优势率为 1.52%。其中菲 A/协青早 B//752 和珍汕 97A/协青早 B//752 最明显,分别增高 16.8% 和 32.53%。株高杂种优势太大可能引起倒伏,是个不利因素,但株高优势反映了三交种的长势和生物学优势。Ponnuthurai 等^[18]指出,株高的增加实际上可能为光合作用提供了一个较理想的受光冠层,从而增强了杂种后代的光合作用能力。因此,在不倒伏的前提下,株高应尽可能矮中求高,在合理的经济系数下,力争生长量大。在剑叶长和剑叶宽上分别有 7 个和 8 个三交种表现为正优势,平均优势率分别为 5.79% 和 6.66%,而剑叶角度则有明显的负

表 1 中晚稻三交种优势率

Table 1 The superiority rate (SR) of three-way cross hybrid vs. single cross hybrid in mid-late season cropping

三交杂种 Three-way cross hybrid	单株产量 GWP(g)		株高 PH(cm)		播始历期 DHI(d)		千粒重 TCW(g)		结实率 SSR(%)		每穗实粒数 FSP		每穗总粒数 SP		有效穗数 NETP	
	SR I	SR II	SR I	SR II	SR I	SR II	SR I	SR II	SR I	SR II	SR I	SR II	SR I	SR II	SR I	SR II
菲 A/协青早 B/752 FeiA/Xieqingzaob/752	-30.21	-57.42	16.80	-12.06	12.47	-3.04	22.72	-6.51	-12.93	-21.49	-20.48	-8.67	-39.93	-25.00	-55.00	
菲 A/协青早 B/测 64-7 FeiA/Xieqingzaob/Ce64-7	-10.35	-57.34	-13.94	-35.09	0.57	-25.68	-2.87	-20.48	-10.59	-10.80	-10.67	-39.70	-54.48	6.19	-1.91	
菲 A/协青早 B/优米 2 号 FeiA/Xieqingzaob/Youmi2	49.79	-26.83	-13.34	-16.40	4.78	-10.75	4.19	-5.61	-5.36	-16.27	56.03	2.44	3.17	-27.44	-13.30	-47.50
中 9A/协青早 B/752 Zhong9A/Xieqingzaob/752	43.41	-38.13	-9.10	-9.10	-14.60	-14.60	11.58	-1.95	-15.29	-24.14	-0.70	-1.83	20.28	-23.25	-49.29	
中 9A/协青早 B/测 64-7 Zhong9A/Xieqingzaob/Ce64-7	-6.56	-32.24	1.73	-18.98	-3.94	-27.56	4.28	-2.01	-0.51	-18.01	-14.96	-20.97	-14.53	-42.84	9.23	-29.00
中 9A/协青早 B/优米 2 号 Zhong9A/Xieqingzaob/Youmi2	21.47	-25.16	-3.88	-17.28	-2.77	-14.66	0.50	-1.15	11.37	-17.13	-2.25	-9.00	-12.23	-34.87	34.62	-41.67
金 23A/协青早 B/752 Jin23A/Xieqingzaob/752	1.34	-30.10	3.47	-2.79	13.36	-0.68	10.46	0.36	-17.36	-17.44	-9.65	-11.15	9.34	-19.52	0.62	-42.14
金 23A/协青早 B/测 64-7 Jin23A/Xieqingzaob/Ce64-7	14.99	-34.17	3.12	-24.21	0.39	-29.44	2.93	-1.99	-12.53	-20.28	6.54	-26.68	21.79	-45.46	24.59	-0.84
金 23A/协青早 B/优米 2 号 Jin23A/Xieqingzaob/Youmi2	0.57	-2.71	3.07	-15.85	-3.11	-14.95	1.80	1.79	-9.69	-19.01	37.89	7.14	17.78	-21.54	-13.77	-43.33
珍汕 97A/协青早 B/752 Zhenshan97A/Xieqingzaob/752	-62.67	-62.67	32.53	-3.45	18.75	-1.68	22.89	-0.90	-1.62	-15.10	5.14	-5.84	6.87	-34.22	-48.51	-66.25
珍汕 97A/协青早 B/测 64-7 Zhenshan97A/Xieqingzaob/Ce64-7	60.29	9.94	1.38	-24.91	-6.17	-28.50	5.43	1.08	5.68	-5.19	16.99	3.87	10.71	-35.03	9.80	2.59
珍汕 97A/协青早 B/优米 2 号 Zhenshan97A/Xieqingzaob/Youmi2	-2.74	-35.19	-3.55	-18.45	0.51	-13.51	3.49	-0.47	4.08	-25.60	-13.67	-23.11	-17.06	-38.71	0.00	-46.67

三交杂种 Three-way cross hybrid	穗长 PL(cm)		着粒密度 (粒数/10 cm) PD		粒长 GL(cm)		粒宽 GW(cm)		粒形 LW		剑叶长 FL(cm)		剑叶宽 FW(cm)		剑叶角度 FA(°)	
	SR I	SR II	SR I	SR II	SR I	SR II	SR I	SR II	SR I	SR II	SR I	SR II	SR I	SR II	SR I	SR II
菲 A/协青早 B/752 FeiA/Xieqingzaob/752	9.01	-16.72	-15.02	-33.62	2.22	-15.60	15.63	-0.89	-11.59	-27.45	4.94	-32.13	30.11	-20.12	-21.50	-63.71
菲 A/协青早 B/测 64-7 FeiA/Xieqingzaob/Ce64-7	-16.52	-33.43	-8.58	-36.88	3.36	-10.55	6.01	-12.50	-2.50	-12.92	4.43	-43.04	-1.20	-32.09	-2.28	-53.00
菲 A/协青早 B/优米 2 号 FeiA/Xieqingzaob/Youmi2	-13.34	-20.57	19.32	-15.60	-5.62	-5.81	3.04	-12.50	-8.40	-8.30	17.66	-34.55	-2.51	-14.65	-0.27	-65.00
中 9A/协青早 B/752 Zhong9A/Xieqingzaob/752	-13.14	-13.15	-6.16	-18.98	-0.66	-13.24	0.10	-2.04	-0.76	-24.55	-23.73	-23.73	-0.01	-7.18	-22.57	-63.35
中 9A/协青早 B/测 64-7 Zhong9A/Xieqingzaob/Ce64-7	-3.93	-19.08	-10.93	-34.95	1.56	-9.72	-1.67	-11.43	3.29	-13.18	4.45	-27.17	9.12	-25.67	-30.10	-66.84
中 9A/协青早 B/优米 2 号 Zhong9A/Xieqingzaob/Youmi2	-8.56	-16.41	6.20	-10.88	1.79	-4.43	-3.02	-10.71	4.96	-8.83	-3.09	-30.43	1.77	-16.74	-12.33	-57.01
金 23A/协青早 B/752 Jin23A/Xieqingzaob/752	-3.25	-10.98	-16.44	-16.44	5.62	-13.76	-5.00	1.79	11.18	-27.83	-5.15	-15.85	1.70	-25.12	-19.46	-67.64
金 23A/协青早 B/测 64-7 Jin23A/Xieqingzaob/Ce64-7	-5.60	-24.33	-22.97	-33.49	0.00	-13.76	-0.97	-8.93	0.98	-19.34	6.54	-38.23	11.61	-6.67	-6.67	-59.58
金 23A/协青早 B/优米 2 号 Jin23A/Xieqingzaob/Youmi2	6.13	-13.81	-27.13	-45.10	-0.82	-6.93	-1.40	-7.94	0.58	-13.89	20.31	-21.87	5.69	-6.67	-6.67	-59.58
珍汕 97A/协青早 B/752 Zhenshan97A/Xieqingzaob/752	17.38	-7.82	-11.29	-34.46	-7.33	-14.98	25.76	-1.19	-26.31	-26.71	52.21	-15.87	13.48	0.81	-5.86	-67.22
珍汕 97A/协青早 B/测 64-7 Zhenshan97A/Xieqingzaob/Ce64-7	1.84	-20.98	-9.65	-24.18	2.54	-16.51	-9.73	-8.93	13.59	-21.91	-4.27	-47.77	14.94	-12.33	-12.33	-64.95
珍汕 97A/协青早 B/优米 2 号 Zhenshan97A/Xieqingzaob/Youmi2	-6.14	-16.34	-11.39	-32.29	2.29	-11.16	-7.42	-5.95	10.49	-19.54	-4.86	-33.75	-4.80	-12.87	-8.81	-62.69

注:SR I 表示三交种对相应单交种的劣势率,SR II 表示三交种对最优单交种的劣势率。

Note:SR I and SR II indicate the superiority rates of three-way hybrid from the corresponding single hybrid and the best single hybrids, respectively.

GWP: grain weight/plant; PH: plant height; DHI: days from sowing to initial heading; TCW: 1000-grain weight; SSR: seed setting rate; FSP: filled spikelets/panicle; SP: spikelets/panicle; NETP: number of effective tillers per plant; PL: panicle length; PD: panicle density; GL: grain length; GW: grain width; LW: length/width of grain; FL: flag-leaf length; FW: flag-leaf width; FA: flag-leaf angle. The same below.

优势,平均优势率为-13.13%。可见,三交种有利于改善剑叶形态,使植株具有较好的受光层。

2.1.3 抽穗期的杂种优势 三交种的抽穗期普遍比单交种推迟(表1),有7个三交组合为正优势,平均优势率为1.69%。但从整体来看,大部分三交组合和单交组合的生育期相差2~8d,说明三交种的生育期可以达到育种要求。

2.1.4 谷粒性状的杂种优势 有7个三交种的粒长表现为正优势(表1),平均优势率为0.41%,但粒宽和粒形的优势小。

2.2 三交种及相应单交种株高和播始历期变异程度分析

由于纯合不育系与临时保持系的株高、生育期稍有差异,配制的杂合不育系再与恢复系配组后,三交种的株高和生育期会有一定程度的分离现象。但从表2株高的变异系数可以看出,单交种为0.12%~7.66%,而三交种为0.82%~7.91%,菲A/协青早B//测64-7等组合均小于相应的单交种。说明三交种在株高上是可以保持整齐的。单交种播始历期的变异系数为2.92%~13.37%,而三交种为1.88%~16.25%,两者也比较接近,三交种生育期没有出现

明显的分离现象。

3 讨论

3.1 三交稻优势明显,具有较好的开发应用前景

本试验有58.33%的三交组合表现出明显的优势,单株产量比其相应单交组合高,平均优势率为6.61%。产量居第一位的是三交种珍汕97A/协青早B//测64-7,比相应单交种增产60.29%,比最优单交种增产9.94%。三交种及相应单交种的株高和播始历期也接近,表明三交中晚稻的株高和生育期整齐度可达到生产要求。三交稻的主要特点是产量高^[1-7]、易制种^[17]、抗性强^[16]。2003年江西省浮梁县三交早稻“杂合A402”和三交晚稻“杂合A906”已分别示范130hm²以上,较三系杂交早稻增产8%~10%,说明三交稻具有开发应用潜力。

3.2 三交稻选育的关键在于亲本的选配

在产量构成因素中,三交稻的千粒重优势最突出,其他主要农艺性状则因临时保持系和恢复系的不同而异。以协青早B为临时保持系可提高中晚稻三交种的千粒重,却不利于提高结实率,说明亲本的正确选择和合理搭配是强优势三交种选育的关键。

表2 中晚稻三交种及单交种株高和生育期表现

Table 2 Comparison of the plant height and DIH between single cross and three way cross hybrid in mid-late season cropping

组合 Hybrid	株高 Plant height		始穗期 Beginning date of heading	齐穗期 Finishing date of heading	播始历期 DIH	
	(cm)	CV (%)	(month/day)	(month/day)	(d)	CV (%)
菲 A/752 FeiA/752	120 ±0.14	0.12	8/9	8/17	91.63 ±9.77	10.66
菲 A/协青早 B//752 FeiA/XieqingzaoB//752	140.63 ±4.19	2.98	8/16	8/19	103.06 ±14.26	13.84
菲 A/测 64-7 FeiA/Ce64-7	120.62 ±7.44	6.17	7/31	8/8	78.55 ±2.29	2.92
菲 A/协青早 B//测 64-7 FeiA/XieqingzaoB//Ce64-7	103.8 ±2.40	2.31	8/8	8/18	79 ±5.19	6.57
菲 A/优米 2 号 FeiA/Youmi2	154.29 ±11.82	7.66	8/18	8/20	90.53 ±2.55	2.82
菲 A/协青早 B//优米 2 号 FeiA/XieqingzaoB//Youmi2	133.7 ±23.18	17.34	8/23	8/25	94.86 ±4.43	4.67
中 9A/752 Zhong9A/752	159.92 ±5.83	3.65	9/1	9/5	106.29 ±2.75	2.59
中 9A/协青早 B//752 Zhong9A/XieqingzaoB//752	145.36 ±18.18	12.51	8/24	8/29	90.77 ±14.75	16.25
中 9A/测 64-7 Zhong9A/Ce64-7	127.36 ±2.45	1.92	7/30	8/9	80.16 ±3.52	4.39
中 9A/协青早 B//测 64-7 Zhong9A/XieqingzaoB//Ce64-7	129.56 ±1.33	1.03	8/1	8/7	77 ±8.56	11.12
中 9A/优米 2 号 Zhong9A/Youmi2	137.62 ±4.80	3.49	8/18	8/22	93.29 ±4.39	4.71
中 9A/协青早 B//优米 2 号 Zhong9A/XieqingzaoB//Youmi2	132.28 ±6.75	5.10	8/20	8/23	90.71 ±4.55	5.02
金 23A/752 Jin23A/752	150.25 ±3.61	2.40	8/31	9/4	93.13 ±3.15	3.38
金 23A/协青早 B//752 Jin23A/XieqingzaoB//752	155.46 ±7.55	4.86	9/2	9/6	105.57 ±3.37	3.19
金 23A/测 64-7 Jin23A/Ce64-7	117.53 ±8.21	6.99	7/27	8/7	74.71 ±3.3	4.42
金 23A/协青早 B//测 64-7 Jin23A/XieqingzaoB//Ce64-7	121.2 ±7.45	6.15	7/31	8/7	75 ±1.41	1.88
金 23A/优米 2 号 Jin23A/Youmi2	130.57 ±2.54	1.95	8/20	8/22	93.3 ±2.91	3.12
金 23A/协青早 B//优米 2 号 Jin23A/XieqingzaoB//Youmi2	134.58 ±6.09	4.53	8/20	8/22	90.4 ±4.5	4.98
珍汕 97A/752 Zhenshan97A/752	116.5 ±2.48	2.13	8/12	8/14	88 ±4.58	5.20
珍汕 97A/协青早 B//752 Zhenshan97A/XieqingzaoB//752	154.4 ±2.58	1.67	9/2	9/4	104.5 ±7.69	7.36
珍汕 97A/测 64-7 Zhenshan97A/Ce64-7	118.45 ±2.64	2.23	8/10	8/18	81 ±5.36	6.62
珍汕 97A/协青早 B//测 64-7 Zhenshan97A/XieqingzaoB//Ce64-7	120.09 ±3.61	3.01	8/16	8/22	76 ±5.19	6.83
珍汕 97A/优米 2 号 Zhenshan97A/Youmi2	135.22 ±3.84	2.84	8/18	8/21	91.46 ±4.03	4.41
珍汕 97A/协青早 B//优米 2 号 Zhenshan97A/XieqingzaoB//Youmi2	130.42 ±4.32	3.31	8/18	8/23	91.93 ±4.96	5.40

References

- [1] Yang R-C(杨仁崔). Some preliminary knowledge about three-way cross rice. *Fujian Agricultural Science & Technology*(福建农业科技), 1982, (2): 5 (in Chinese)
- [2] Li S-Y(李世英). Discussion on raising the competitive advantage of hybrid rice by three-way cross hybrid. *Journal of Liaoning Agricultural Sciences*(辽宁农业科学), 1986, 2: 14 - 17 (in Chinese)
- [3] Chen L-Y(陈立云). A preliminary exploration on application in heterosis of three-way cross hybrid rice. *Hybrid Rice*(杂交水稻), 1987, (4): 11 - 13 (in Chinese with English abstract)
- [4] Su X-D(苏孝道), Yang R-C(杨仁崔), Lu H-R(卢浩然). Heterosis and combining ability of hybrid rice in three-way cross. *Journal of Fujian Agricultural College*(福建农学院学报), 1990, 19(1): 7 - 12 (in Chinese with English abstract)
- [5] Guo P-Q(郭蒲清), Guo B-S(郭柏生), Xu X-H(徐小红). Exploration of application perspective of three-way cross hybrid rice. *Jiangxi Agricultural Science & Technology*(江西农业科技), 1992, (3): 6 - 9 (in Chinese)
- [6] Tong J-P(童继平), Wu Y-J(吴跃进), Han Z-S(韩正姝), Fang W-X(方文贤). A preliminary study on the application value of hybrid rice combination bred by three-way cross. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*(安徽农业科学), 2001, 20(3): 284 - 285 (in Chinese)
- [7] Xu S-C(徐寿昌), Xiong W(熊伟), Yin J-H(尹建华). Study on breeding of triple hybrid rice. *Acta Agriculturae Jiangxi*(江西农业学报), 2002, 14(3): 12 - 16 (in Chinese with English abstract)
- [8] Chen GJ(陈国基), Guo GL(郭国亮), Wu Z-G(吴枝根), Liu M-F(刘满芳). Planting experiment on three-way cross hybrid maize. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*(山西农业科学), 1987, 8: 22 - 23 (in Chinese)
- [9] Liu J-H(刘建华), Liu X-J(刘晓津), Fang Z-W(方志伟), Wang X-M(王晓明). The selection and breeding of mid-early, high production and quality hybrid maize Yunong90-137. *Journal of Guangdong Agricultural Sciences*(广东农业科学), 1999, 2: 12 - 14 (in Chinese)
- [10] Su ZL(苏祯祿), Li YL(李玉玲). Study on effect of different combinative ways in maize inbred lines. *Acta Agriculturae Universitatis Henanensis*(河南农业大学学报), 1987, 21(1): 139 - 153 (in Chinese with English abstract)
- [11] Jing S-R(靖深蓉), Xing Y-H(邢以华), Zhan X-H(占先合), Qiu J(邱竞). Application of three-way cross combination heterosis in Chinese cotton. *Chinese Cotton*(中国棉花), 1987, 14(5): 12 - 13 (in Chinese)
- [12] Liu Y-P(刘燕平). Analysis of effect of different cross ways in wheat. *Journal of Beijing Normal University*(北京师范大学学报), 1990, 11(1): 25 - 32 (in Chinese with English abstract)
- [13] Zhang A-M(张爱民), Xie C-J(解超杰). Combining ability analysis of parents in diallel design in wheat. *Journal of China Agricultural University*(中国农业大学学报), 1999, (1): 57 - 63 (in Chinese with English abstract)
- [14] Hu B-C(胡宝成), Chen F-X(陈凤祥), Li C(李成), Li Q-S(李强生), Ying H-B(英恒斌), Chen W-S(陈维生). Heterosis comparison between cytoplasmic male sterile three-way crosses and single cross hybrid in *Brassica napus* L. *Oil Crops of China*(中国油料), 1996, 18(3): 4 - 6 (in Chinese with English abstract)
- [15] Li Y-C(李云昌), Gong R-C(龚仁才), Hu Q(胡琼). Establishment of three-way crosses hybrid using male sterile in winter rapeseed (*Brassica napus* L.). *Oil Crops of China*(中国油料), 1996, 18(1): 8 - 10 (in Chinese with English abstract)
- [16] Yuan L-Q(袁利群), Yang L-W(杨隆维), Xiang J-Q(向极钎), Wang GJ(王光建), Li J-H(李继辉), Duan T-P(段太品), Xu M(许敏). Application of three-way cross hybrid in breeding of blast resistant three-line hybrid rice. *Hybrid Rice*(杂交水稻), 2003, 18(6): 7 - 9 (in Chinese)
- [17] Yu S-W(余守武), Yang P(杨平), Yin J-H(尹建华), Liu Y-B(刘宜柏). A comparative study on flowering habits of heterozygous sterile line and homozygous sterile line. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*(江西农业大学学报), 2004, 26(1): 96 - 101 (in Chinese with English abstract)
- [18] Ponnuthrai S, Vimarni S S, Vergara B S. Comparative studies on the growth and grain yield of some F_1 rice. *Philippines J C Vop Sci*, 1984, 9: 183 - 193