

王小虎, 钟卫国, 李 标, 等. 江苏省杂交粳稻与常规粳稻新品种主要性状比较[J]. 江苏农业学报, 2017, 33(4): 729-738.
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2017.04.002

江苏省杂交粳稻与常规粳稻新品种主要性状比较

王小虎^{1,2,3}, 钟卫国³, 李 标³, 潘斌清³, 端木李玲⁴, 俞 良³, 胡 江²,
端木银熙³, 梁国华¹, 钱 前²

(1.扬州大学江苏省遗传生理重点实验室/教育部植物功能基因组学重点实验室, 江苏 扬州 225009; 2.中国水稻研究所水稻生物学国家重点实验室, 浙江 杭州 310006; 3.常熟市农业科学研究所/江苏省杂交晚粳工程技术研究中心/国家杂交水稻工程技术研究中心常熟分中心, 江苏 常熟 215500; 4.常熟市种子管理站, 江苏 常熟 215500)

摘要: 利用 2013–2015 年江苏省粳稻新品种区域试验数据, 对参试的杂交粳稻与常规粳稻主要农艺性状、品质性状及抗病性进行比较分析。结果表明: 与常规粳稻相比, 杂交粳稻在株高、分蘖率和每穗总粒数上具有较强的正向竞争优势, 但成穗率、有效穗数、结实率、千粒质量为负优势, 杂交粳稻在产量上没有明显的竞争优势。相关分析、多元线性回归分析和通径分析结果表明, 每穗总粒数与结实率对杂交粳稻产量贡献最大。杂交粳稻的主要品质性状与常规粳稻相比具有一定的竞争优势; 垩白粒率和垩白度在各类型品种(组合)间的变异系数明显大于其他品质性状。杂交粳稻的垩白粒率、垩白度及直链淀粉含量优质达标率均偏低, 表明垩白粒率和垩白度高以及直链淀粉含量偏低是制约江苏省杂交粳稻品质性状提高的主要因素。杂交粳稻对苗瘟、穗颈瘟、条纹叶枯病的抗性总体强于常规粳稻, 对纹枯病的抗性总体弱于常规粳稻; 对白叶枯病的抗性, 与常规粳稻相比, 杂交中粳较弱, 杂交晚粳较强。综上所述, 江苏省杂交粳稻育种中在提高每穗总粒数和结实率的基础上应加强垩白性状的改良, 并重视综合抗病性的选择。

关键词: 杂交粳稻; 常规粳稻; 农艺性状; 品质性状; 抗病性

中图分类号: S511.032 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2017)04-0729-10

Comparative analysis of major traits of new varieties between *japonica* hybrid rice and conventional *japonica* rice in Jiangsu province

WANG Xiao-hu^{1,2,3}, ZHONG Wei-guo³, LI Biao³, PAN Bin-qing³, DUANMU Li-lin⁴, YU Liang³,
HU Jiang², DUANMU Yin-xi³, LIANG Guo-hua¹, QIAN qian²

(1. Jiangsu Key Laboratory of Crop Genetics and Physiology/Key Laboratory of Plant Functional Genomics, Ministry of Education, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China; 2. State Key Laboratory of Rice Biology, China National Rice Research Institute, Hangzhou 310006, China; 3. Changshu Agricultural Research Institute/Jiangsu Engineering Technology Research Center for Late Hybrid Japonica Rice/Changshu Subcenter of China National Hybrid Rice Research and Development Center, Changshu 215500, China; 4. Changshu Seed Management Station, Changshu 215500, China)

收稿日期: 2017-03-02

基金项目: 江苏省科技计划后补助项目(BE2015378); 江苏省苏州市科技计划项目(SNG201509)

作者简介: 王小虎(1979-), 男, 江西南昌人, 博士研究生, 高级农艺师, 主要从事水稻遗传育种研究。(E-mail) jscnkswxh188@163.com

通讯作者: 梁国华, (E-mail) ricegb@yzu.edu.cn; 钱 前, (E-mail) qianqian188@hotmail.com

Abstract: Based on regional trial data of newly-bred *japonica* rice in Jiangsu province from 2013 to 2015, the major agronomic traits, quality traits and disease resistance of *japonica* hybrid rice (JHR) and conventional *japonica* rice (CJR) varieties were compared. JHR in plant height, tiller number and grain number per panicle presented stronger positive competitive advantage over CJR, but negative advantages in spike rate, effective panicle number, seed-setting rate, and 1 000-grain weight. No signifi-

cantly competitive advantage was observed in the yield of hybrid *japonica*. Correlation analysis, multiple linear regression analysis and path analysis indicated that spikelets per panicle and seed-setting rate of the hybrid rice were the two primary contributions to the yield of hybrid rice. The major quality traits of JHR had a certain degree of competitive advantage over CJR. The chalky rice rate and chalkiness degree showed much greater variation coefficients among varieties than other grain quality traits did. The chalky rice rate, chalkiness degree and amylase content of JHR were lower, indicating that the weaker chalky characters and lower amylose content were the major factors restricting the improvement of quality traits of JHR in Jiangsu province. The resistances of JHR to seedling blast, neck blast, rice stripe disease were stronger than those of CJR, but to sheath blight was weaker. The resistance to bacterial leaf blight was weaker in medium *japonica* hybrid rice but stronger in late *japonica* hybrid rice. In summary, in Jiangsu province, the strategy for JHR breeding targeting improving spikelets per panicle and seed-setting rate should focus on the improvement of chalky characters and disease resistance.

Key words: *japonica* hybrid rice; conventional *japonica* rice; agronomic trait; grain quality; disease resistance

中国杂交粳稻研究始于 1965 年,云南省农业科学院在台北 8 号稻田中发现天然不育株,用当地粳稻品种红帽缨与其杂交再回交,于 1969 年育成了中国最早的粳型不育系滇 I 型红帽缨粳稻不育系^[1],但是难以找到恢复系,育成之初未能在生产上应用。1966 年,日本育种家新成长友等育成了 BT 型不育系台中 65A^[2],1972 年 9 月由中国农业科学院引进,湖南省农业科学院率先转育成 BT 型粳稻不育系黎明 A^[3]。辽宁省农业科学院杨振玉通过“籼粳架桥”人工制恢技术将籼稻 IR8 的恢复基因引入粳稻中,于 1976 年育成了高恢复度和强优势的恢复系 C57,并于 1980 年选育出了中国第一个大面积生产应用的杂交粳稻组合黎优 57^[4],从而实现了杂交粳稻“三系”配套。随后,辽宁、江苏、安徽、上海、云南、浙江、天津等地区在杂交粳稻育种上也取得了较大进展,其中育成了包括辽宁的辽优系列,江苏的六优、泗优、9 优、常优、苏粳优系列,安徽的当优、双优、T 优系列,上海的申优、寒优系列,云南的滇杂、滇优、云光系列,浙江的甬优、浙优、春优、嘉优系列,天津的津粳杂、津粳优、中粳优系列。至今中国已育成杂交粳稻品种超过 300 个^[5]。

杂交粳稻生产已经不存在重大技术问题,大面积推广杂交粳稻是切实可行的^[6]。但是从杂交粳稻生产应用方面而言,实际推广的组合并不多,推广面积也不大。这是由于杂交粳稻生态适应性窄,杂种优势不明显,制种繁种产量及纯度低,配套栽培体系不健全等原因导致其发展缓慢^[7-8]。从目前国内水稻发展形势而言,杂交籼稻面积已占籼稻种植面积的 60% 以上,而杂交粳稻面积只占粳稻种植面积的 5% 左右^[9]。相比于杂交籼稻,杂交粳稻还有很大的发展空间,在近期内最有可

能取得跨越式发展,将成为中国粮食增产新的增长点^[10]。本研究以 2013-2015 年江苏省杂交粳稻和常规粳稻新育成的品种区域试验结果为依据,对江苏省杂交粳稻主要农艺性状、品质性状和抗病性进行分析,以期找出江苏省杂交粳稻大面积推广应用中存在的主要问题,为江苏省杂交粳稻育种改良及推广提供参考。

1 材料与方法

1.1 供试材料和数据来源

数据来源于 2013-2015 年参加江苏省杂交粳稻和常规粳稻区域试验的 146 个品种(组合)的主要农艺性状、品质性状和抗病性总结资料,不含对照品种,不分参试年限,即连续参试 2 年的品种(组合)按 2 个品种(组合)看待,每个试验组具体试验点数、参试品种数见表 1。其中主要品质性状数据去除了 4 个糯米或软米品种(组合),共选取了 142 个品种(组合)资料,即杂交中粳 33 个,常规中熟中粳 39 个,杂交晚粳 34 个,常规早熟晚粳 36 个。

1.2 试验方法

按照江苏省区域试验方案,每个试验点小区面积 13.34 m²,采用随机区组排列,3 次重复,常规品种每穴栽插 3~4 苗,杂交组合每穴栽插 1~3 苗。5 月上中旬播种,6 月中下旬移栽。同一试验的每一项操作在同 1 d 内完成。施肥水平和病虫草害的防治参照当地大面积生产,并根据当地的生产水平进行合理的田间管理。

1.3 农艺性状测定

每个材料于成熟期取代表性植株 3 穴,测定株高、分蘖率、成穗率、有效穗、每穗实粒数、结实率、千粒质量等性状。

1.4 品质性状测定

委托农业部食品质量监督检验测试中心(武汉)进行稻米品质理化指标的检测。

1.5 抗性鉴定

委托江苏省农业科学院植物保护研究所对参试品种进行苗瘟、穗颈瘟、白叶枯病、纹枯病、条纹叶枯病的抗性鉴定。

1.6 分析方法

用 Microsoft Excel 2003 软件处理数据,用 DPS 6.55 和 SPSS 22.0 软件进行数据统计分析。计算各参试品种(组合)的主要农艺性状的平均值、变异系数、差异显著性及产量与其他农艺性状的相关性;计算主要品质性状的平均值、变异系数、差异显著性、优质达标率和抗病性达中抗以上的百分率。

表 1 2013–2015 年江苏省杂交粳稻与常规粳稻新品种(组合)区域试验地点数与品种(组合)数量
Table 1 Number of test sites and varieties(combinations) of japonica hybrid rice(JHR) and conventional japonica rice(CJR) from 2013 to 2015 in Jiangsu province

品种类型	区试地点数			品种(组合)数量		
	2013	2014	2015	2013	2014	2015
杂交中粳	7	7	10	10	10	13
常规中熟中粳	9	10	10	13	15	13
杂交晚粳	6	6	6	9	13	12
常规早熟晚粳	8	9	8	12	11	15
总数	30	32	34	44	49	53

2 结果与分析

2.1 杂交粳稻与常规粳稻品种主要农艺性状比较分析

从表 2 可以看出,2013–2015 年参试的杂交中粳的株高、分蘖率、每穗总粒数均分别极显著高于常规中熟中粳,生育期极显著短于常规中熟中粳,有效穗数和结实率均极显著低于常规中熟中粳,成穗率、千粒质量与常规中熟中粳差异均不显著,与常规中熟中粳相比,杂交中粳在产量上没有竞争优势,产量略低,但两者差异不显著。

杂交晚粳的株高、每穗总粒数均极显著高于常规早熟晚粳,生育期极显著长于常规早熟晚粳,成穗率和分蘖率均略低于常规早熟晚粳,但差异均不显著,有效穗数、结实率、千粒质量均极显著低于常规早熟晚粳,杂交晚粳的产量略高于常规早熟晚粳,但两者差异不显著。

杂交粳稻的主要农艺性状的变异系数基本上都大于常规粳稻,特别是杂交粳稻每穗总粒数、结实率的变异系数明显大于常规粳稻,说明杂交粳稻参试组合间每穗总粒数和结实率差异较大,这可能跟近年来杂交粳稻参试组合中既有高产大穗型结实率普遍在 90%以下的“籼粳交”组合,也有稳产中穗型结

实率在 90%以上的“粳粳交”组合有关。
通过对杂交粳稻与常规粳稻主要农艺性状的比较分析可知:与常规粳稻相比,杂交粳稻株高明显较高,生育期相对较长,分蘖能力较强,但成穗率不高。杂交粳稻的产量构成因子如有效穗数、结实率、千粒质量均偏低,但每穗总粒数却明显较多,杂交粳稻在产量上没有明显的竞争优势。
2.2 各类型品种(组合)的产量与主要农艺性状的相关分析

对各类型品种(组合)产量与 8 个农艺性状进行相关分析(表 3),结果表明,结实率对各类型品种(组合)的产量影响最大,与各类型品种(组合)产量之间均呈显著或极显著正相关;千粒质量对产量的影响也较大,与杂交晚粳的产量呈显著负相关,与杂交中粳、常规中熟中粳的产量分别呈极显著、显著正相关。杂交晚粳、常规早熟晚粳的产量与有效穗数呈极显著负相关,与每穗总粒数呈极显著正相关。分蘖率与杂交中粳、常规早熟晚粳的产量呈极显著负相关,与其他类型品种(组合)的产量相关不显著。生育期与杂交中粳的产量呈极显著负相关,但与杂交晚粳的产量呈极显著正相关,这说明生育期过长或过短都会影响杂交粳稻的产量。生育期过长,后期灌浆容易碰到不利天气,造成减产;生育期

太短,生物产量会明显降低,从而影响后期产量的提高。株高与杂交中梗的产量呈显著负相关,与常规中熟中梗的产量呈极显著正相关;株高与杂交晚梗、常规早熟晚梗的产量相关均不显著。虽然株高对水稻产量具有一定的影响,但株高过高或过矮都不利

于高产,株高过高容易引起后期倒伏,而过矮限制生物学产量的增加,从而影响最终产量。一般认为杂交梗稻的株高在 110~120 cm、常规梗稻的株高在 95~105 cm 较利于高产稳产。

表 2 2013–2015 年江苏省杂交梗稻与常规梗稻品种(组合)主要农艺性状的平均值

Table 2 Comparison of the average values of main agronomic traits between JHR and CJR from 2013 to 2015 in Jiangsu province

性状	指标	杂交中梗	常规中熟中梗	杂交晚梗	常规早熟晚梗
株高	平均数 (cm)	116.59 **	99.74	114.61 **	97.00
	标准差	7.91	4.57	6.49	4.91
	变异系数 (%)	6.79	4.58	5.66	5.06
生育期	平均数 (d)	152.38 **	155.36	163.61 **	160.00
	标准差	4.90	3.44	3.41	2.06
	变异系数 (%)	3.22	2.21	2.08	1.29
分蘖率	平均数 (%)	410.78 **	319.24	397.66	416.80
	标准差	38.55	37.70	79.55	43.43
	变异系数 (%)	9.39	11.81	20.01	10.42
成穗率	平均数 (%)	68.16	68.53	71.87	72.26
	标准差	3.71	2.66	4.33	3.87
	变异系数 (%)	5.44	3.88	6.03	5.36
有效穗数	平均数 ($\times 10^4$, 1 hm ²)	231.45 **	316.73	252.09 **	317.66
	标准差	14.24	22.16	20.26	16.81
	变异系数 (%)	6.15	7.00	8.04	5.29
每穗总粒数	平均数	214.15 **	139.11	196.03 **	138.95
	标准差	22.32	8.42	44.96	13.03
	变异系数 (%)	10.42	6.06	22.94	9.38
结实率	平均数 (%)	81.27 **	88.41	88.04 **	92.76
	标准差	5.88	3.34	6.83	2.30
	变异系数 (%)	7.23	3.78	7.75	2.48
千粒质量	平均数 (g)	25.71	25.84	26.08 **	27.22
	标准差	1.32	1.02	2.16	1.10
	变异系数 (%)	5.15	3.94	8.27	4.05
产量	平均数 (t/hm ²)	9.72	9.87	10.60	10.35
	标准差	0.66	0.50	1.34	0.63
	变异系数 (%)	6.79	5.03	12.67	6.10

*、** 分别表示杂交中梗与常规中熟中梗或杂交晚梗与常规早熟晚梗在 0.05 和 0.01 水平上差异显著。

表 3 各类型梗稻品种产量(组合)与其他农艺性状的相关性

Table 3 Correlation analysis between yield and other agronomic traits among different types of japonica rice

品种类型	株高	生育期	分蘖率	成穗率	有效穗数	每穗总粒数	结实率	千粒质量
杂交中梗	-0.395 9 *	-0.528 1 **	-0.462 9 **	0.014 1	0.144 0	-0.132 5	0.801 6 **	0.484 5 **
常规中熟中梗	0.450 7 **	-0.259 1	0.125 5	-0.268 1	0.093 0	-0.039 0	0.467 0 **	0.313 8 *
杂交晚梗	0.284 0	0.565 5 **	-0.246 3	-0.639 9 **	-0.483 9 **	0.676 9 **	0.404 6 *	-0.374 5 *
常规早熟晚梗	0.278 2	-0.208 9	-0.719 0 **	-0.407 7 *	-0.555 1 **	0.581 5 **	0.652 5 **	0.304 4

*、** 分别表示相关性达到 0.05 和 0.01 显著水平。

2.3 不同类型品种(组合)的产量与主要农艺性状的多元线性回归分析

为了进一步确定杂交粳稻、常规粳稻的产量与主要农艺性状的关系,我们把产量作为依变数,主要农艺性状作为自变数进行多元线性回归分析。结果(表4)表明,除分蘖率和成穗率对杂交粳稻、常规粳稻产量均无显著线性效应外,株高、生育期、有效穗数、每穗总粒数、结实率、千粒质量对杂交粳稻、常规粳稻产量均存在显著线性效应。其中,多元线性回归方程表明,株高只与常规中熟中粳的产量存在显著线性效应,株高每增加一个单位,常规中熟中粳产量则增加51.46个单位,其解释20.31%的常规中熟中粳产量变异。生育期每增加1个单位,杂交晚粳的产量增加127.08个单位,其解释了30.38%的杂交晚粳产量的变异。有效穗数每增加1个单位,杂交中粳、常规早熟晚粳的产量分别增加21.97、17.17个单位,其分别解释了46.65%的杂交中粳产量、35.49%常规早熟晚粳产量的变异。每穗总粒数每增加1个单位,杂交中粳、杂交晚粳、常规早熟晚

粳的产量分别增加21.43、18.35、55.82个单位,其分别解释了61.31%的杂交中粳产量、60.82%的杂交晚粳产量、74.89%的常规早熟晚粳产量的变异。结实率与各品种(组合)类型均存在显著线性关系,结实率每增加1个单位,杂交中粳、常规中熟中粳、杂交晚粳、常规早熟晚粳的产量分别增加99.91、72.76、105.66、135.11个单位,其分别解释了81.72%的杂交中粳产量、21.81%的常规中熟中粳产量、60.30%的杂交晚粳产量、65.13%的常规早熟晚粳产量的变异。千粒质量每增加1个单位,杂交中粳、常规早熟晚粳的产量分别增加192.47、308.00个单位,其分别解释了45.02%的杂交中粳产量、61.19%的常规早熟晚粳产量的变异。

这些多元线性回归方程较好地反映了不同类型品种(组合)的产量与主要农艺性状的关系,证明了每穗总粒数和结实率是影响产量的主要决定因子。同时也验证了产量与结实率的相关分析结果和多元线性回归分析结果保持高度一致。

表4 各类型粳稻品种(组合)产量与主要农艺性状的多元线性回归分析结果

Table 4 Multiple linear regression of yield and other agronomic traits among different types of japonica rice

多元线性回归方程	自变数	F 值	标准误	偏决定系数 (%)
$Y_1 = -13\ 019.14 + 21.97x_3 + 21.43x_4 + 99.91x_5 + 192.47x_6$	x_3	24.52 **	4.44	46.65
	x_4	44.44 **	3.21	61.31
	x_5	124.78 **	8.94	81.72
	x_6	22.95 **	40.18	45.02
$Y_2 = -1\ 690.32 + 51.46x_1 + 72.76x_5$	x_1	14.41 **	13.55	20.31
	x_5	15.38 **	18.56	21.81
$Y_3 = -23\ 090.64 + 127.08x_2 + 18.35x_4 + 105.66x_5$	x_2	13.09 **	35.12	30.38
	x_4	46.57 **	2.69	60.82
	x_5	45.56 **	15.65	60.30
$Y_4 = -23\ 776.66 + 17.17x_3 + 55.82x_4 + 135.11x_5 + 308.00x_6$	x_3	17.61 **	4.09	35.49
	x_4	95.44 **	5.71	74.89
	x_5	59.76 **	17.48	65.13
	x_6	50.44 **	43.37	61.19

Y_1 :杂交中粳; Y_2 :常规中熟中粳; Y_3 :杂交晚粳; Y_4 :常规早熟晚粳; x_1 :株高; x_2 :生育期; x_3 :有效穗数; x_4 :每穗总粒数; x_5 :结实率; x_6 :千粒质量。

2.4 不同类型品种(组合)的产量与主要农艺性状的通径分析

对于同一多变数资料,通径分析的显著性与多元回归分析相一致。因此,从逐步回归最后筛选的结果(表4)可以看出,只有株高、生育期、有效穗数、每穗总粒数、结实率、千粒质量等6个农艺性状对杂

交粳稻、常规粳稻产量存在显著性。由通径分析分析结果(表5)可知,有效穗数、每穗总粒数、结实率、千粒质量对杂交中粳、常规早熟晚粳的产量有积极作用,这4个农艺性状对杂交中粳产量的作用通径系数由大到小排列顺序为:结实率>每穗总粒数>有效穗数>千粒质量,对常规早熟晚粳产量的作用通

径系数由大到小排列顺序为:每穗总粒数>千粒质量>结实率>有效穗数,且这 4 个农艺性状决定了杂交中梗产量变异的 87.24%,常规早熟晚梗产量变异的 90.19%。有效穗数、每穗总粒数、结实率、千粒质量分别每增加 1 个单位,可直接使杂交中梗的产量分别增加 0.474 0、0.724 7、0.889 5、0.386 2 个单位,可直接使常规早熟晚梗的产量分别增加 0.457 2、1.152 6、0.492 8、0.538 6 个单位。其中杂交中梗的每穗总粒数使凡是通过它的间接途径系数皆为负值,这说明每穗总粒数通过结实率、有效穗数和千粒质量对杂交中梗的产量形成不同程度的负向作用;常规早熟晚梗的每穗总粒数通过有效穗数和千粒质量的间接途径系数也皆为负值,这说明每穗总粒数通过有效穗数和千粒质量对常规早熟晚梗的产量的贡献也具有负向作用。6 个主要农艺性状中,只有株高和结实率对常规中熟中梗的产量有积极作用,它们的直接途径系数分别为 0.473 3、

0.488 9,决定了产量变异的 44.16%;其剩余途径系数为 0.747 2,明显大于直径途径系数,说明除株高和结实率外,其他农艺性状对常规中熟中梗的增产也起了较大的作用。生育期、每穗总粒数、结实率决定了杂交晚梗的产量变异的 81.55%,其中,每穗总粒数对产量起首要作用,其次是结实率;每穗总粒数、结实率分别每增加 1 个单位,可直接使杂交晚梗的产量分别增加 0.614 3、0.537 1 个单位;杂交晚梗生育期直接途径系数仅为 0.322 4,且小于剩余途径系数 0.429 6,这说明生育期对杂交晚梗产量的直接作用较小。

上述途径分析结果表明,每穗总粒数和结实率对杂交梗稻和常规梗稻的产量直接贡献最大。杂交中梗要获得高产,在提高每穗总粒数和结实率的同时还需兼顾有效穗数和千粒质量的增加;而杂交晚梗要获得高产,必须同时提高每穗总粒数和结实率。

表 5 各类型梗稻品种(组合)产量与主要农艺性状的途径分析结果

Table 5 Path analysis of yield and other agronomic traits among different types of japonica rice

品种类型	自变数	直接途径系数(p_i)	间接途径系数($p_{i \rightarrow j \rightarrow Y}$)						决定系数(R^2)	剩余途径系数(p_e)
			$x_1 \rightarrow Y$	$x_2 \rightarrow Y$	$x_3 \rightarrow Y$	$x_4 \rightarrow Y$	$x_5 \rightarrow Y$	$x_6 \rightarrow Y$		
杂交中梗	x_3	0.474 0				-0.473 5	0.141 2	0.002 4	0.872 4	0.357 2
	x_4	0.724 7			-0.309 7		-0.399 2	-0.148 3		
	x_5	0.889 5			0.075 2	-0.325 3		0.166 2		
	x_6	0.386 2			0.002 9	-0.272 8	0.373 6			
常规中熟中梗	x_1	0.473 3					-0.022 6		0.441 6	0.747 2
	x_5	0.488 9	-0.021 9							
杂交晚梗	x_2	0.322 4				0.291 5	-0.048 4		0.815 5	0.429 6
	x_4	0.614 3		0.153 0			-0.090 4			
	x_5	0.537 1		-0.029 1		-0.103 4				
常规早熟晚梗	x_3	0.457 2				-0.926 8	-0.113 3	0.027 7	0.901 9	0.313 2
	x_4	1.152 6			-0.367 6		0.015 1	-0.218 6		
	x_5	0.492 8			-0.105 1	0.035 4		0.229 5		
	x_6	0.538 6			0.023 5	-0.467 7	0.210 0			

x_1 :株高; x_2 :生育期; x_3 :有效穗数; x_4 :每穗总粒数; x_5 :结实率; x_6 :千粒质量。

2.5 杂交梗稻与常规梗稻主要品质性状比较分析

从表 6 可以看出,2013-2015 年参试杂交梗稻和常规梗稻的出糙率、整精米率、胶稠度均达国家优质稻谷 3 级标准(出糙率 $\geq 77\%$ 、整精米率 $\geq 62\%$ 、胶稠度 ≥ 60 mm)。其中出糙率均达 1 级标准($\geq 81\%$),整精米率除常规中熟中梗达 3 级标准外,其余类型品种(组合)均达 1 级标准($\geq 66\%$);直链淀

粉含量除杂交晚梗外,其余类型品种(组合)均达 3 级以上标准;垩白粒率、垩白度除杂交晚梗达 3 级标准(垩白粒率 $\leq 30\%$ 、垩白度 $\leq 5\%$)外,其余类型品种(组合)均未达标。

从表 6 还可知,无论是杂交中梗还是杂交晚梗的出糙率均极显著低于常规梗稻;杂交中梗的整精米率极显著高于常规中熟中梗,而杂交晚梗的整精米率与

常规早熟晚粳差异却不明显;杂交晚粳的直链淀粉含量显著低于常规早熟晚粳;杂交中粳、杂交晚粳的垩白粒率和垩白度均低于常规中熟中粳、常规早熟晚粳,这表明杂交粳稻在垩白性状上与常规晚粳相比,具有一定的竞争优势。杂交中粳的直链淀粉含量和胶稠度均高于常规中熟中粳,具有一定的竞争优势。

杂交粳稻和常规粳稻各主要品质性状的变异系

数以垩白粒率和垩白度最大,出糙率最小,说明参试品种(组合)间垩白性状的差异较大,对稻谷品质达标率影响最大。杂交中粳的直链淀粉含量变异系数大于常规中熟中粳,杂交晚粳的直链淀粉含量的变异系数小于常规早熟晚粳,说明杂交中粳参试组合间品质性状的变异程度大于常规中熟中粳,而杂交晚粳参试组合间品质性状的变异程度小于常规早熟晚粳。

表 6 2013–2015 年江苏省杂交粳稻与常规粳稻品种主要品质性状的平均值

Table 6 Comparison of the average values of main grain quality traits between JHR and CJR from 2013 to 2015 in Jiangsu province

品种类型	出糙率			整精米率			垩白粒率			垩白度			直链淀粉含量			胶稠度		
	平均数 (%)	标准差	变异系数 (%)	平均数 (%)	标准差	变异系数 (%)	平均数 (%)	标准差	变异系数 (%)	平均数 (%)	标准差	变异系数 (%)	平均数 (%)	标准差	变异系数 (%)	平均数 (%)	标准差	变异系数 (%)
杂交中粳	82.70 **	1.43	1.73	68.52 **	2.73	3.99	30.28	12.10	39.95	5.44	2.83	52.03	19.06	13.19	69.22	73.00	10.82	14.82
常规中熟中粳	84.21	1.37	1.62	63.29	8.25	13.03	35.66	15.83	44.41	6.34	5.70	89.86	16.21	2.45	15.08	71.29	10.73	15.05
杂交晚粳	83.21 **	1.31	1.57	69.30	3.33	4.81	28.56	12.09	42.32	4.94	1.98	40.11	14.64 *	1.07	7.34	77.88	8.37	10.75
常规早熟晚粳	85.35	2.72	3.19	69.37	4.06	5.85	31.40	12.08	38.47	5.91	2.87	48.62	18.42	18.77	101.9	80.68	9.84	12.20

*、** 分别表示杂交品种与常规品种在 5% 和 1% 水平上差异显著。

2.6 杂交粳稻与常规粳稻主要品质性状优质达标率分析

对杂交粳稻与常规粳稻主要品质性状达到国家稻谷 3 级以上标准的品种进行统计分析,结果(表 7)表明,无论是杂交粳稻还是常规粳稻,出糙率、整精米率、胶稠度达标率最高,各品种(组合)出糙率优质达标率均达 100%,整精米率优质达标率除常规中熟中粳为 63.16% 外,其余各品种(组合)达标率均达 90% 以上,胶稠度优质达标率均达 90% 以上。垩白粒率和垩白度的优质达标率相对不高,垩白粒率的优质达标率均在 60% 以下,垩白度的优质

达标率除杂交中粳达 60% 以上外,其余品种(组合)均在 60% 以下。从表 7 还可以看出,杂交中粳与常规中熟中粳相比,整精米率、垩白粒率、垩白度的优质达标率均较高,直链淀粉含量、胶稠度的优质达标率均较低。杂交晚粳与常规早熟晚粳相比,垩白粒率、垩白度、胶稠度的优质达标率均较高,整精米率优质达标率略低于常规早熟晚粳,直链淀粉含量优质达标率明显高于常规早熟晚粳。杂交中粳主要品质指标的全优率比常规中熟中粳高 11.18 个百分点,杂交晚粳主要品质指标的全优率比常规早熟晚粳高 9.24 个百分点。

表 7 2013–2015 年江苏省杂交粳稻组合与常规粳稻品种主要品质性状达国标 3 级以上的百分率

Table 7 Comparison of the percentage of varieties reaching the national fine quality standard grade 3 or above for main grain quality traits of JHR and CJR from 2013 to 2015 in Jiangsu province

品种类型	达国标 3 级以上百分率(%)						各项指标全优率 (%)
	出糙率	整精米率	垩白粒率	垩白度	直链淀粉含量	胶稠度	
杂交中粳	100.00	100.00	59.38	65.63	56.25	93.75	37.50
常规中熟中粳	100.00	63.16	44.74	44.74	84.21	94.74	26.32
杂交晚粳	100.00	97.06	55.88	58.82	47.06	100.00	23.53
常规早熟晚粳	100.00	97.14	51.43	51.43	28.57	97.14	14.29

从整体上看,各类型品种(组合)主要品质指标全优率表现为:杂交中粳>常规中熟中粳>杂交晚粳>常规早熟晚粳;杂交粳稻各品质优质达标率表现为:出糙率>整精米率>胶稠度>垩白度>垩白粒

率>直链淀粉含量;常规粳稻各品质优质达标率表现为:出糙率>胶稠度>整精米率>直链淀粉含量>垩白度>垩白粒率。表明杂交粳稻与常规粳稻相比,主要品质性状具有一定的竞争优势。但从单个品质

性状来看,杂交粳稻的直链淀粉含量达标率最低,但是适当降低直链淀粉含量,有利于稻米蒸煮食味品质的改善,例如江苏省农业科学院选育的南粳 46、南粳 5055、南粳 9108 均为优质食味品种,直链淀粉含量分别仅为 15.0%、10.1%、14.5%。无论是杂交粳稻还是常规粳稻垩白粒率和垩白度的优质达标率也都偏低。因此,就国家稻谷标准而言,提高直链淀粉含量的达标率和垩白性状的改良是关键。就提高稻米的食味品质而言,可考虑适当降低直链淀粉的含量,即“软米”新品种(组合)的选育将成为江苏省水稻优质育种的一个新方向。

2.7 杂交粳稻与常规粳稻的主要病害抗性分析

以 2013–2015 年区域试验主要病害抗病鉴定结果为依据,统计分析了杂交粳稻和常规粳稻对苗

瘟、穗颈瘟、白叶枯病、纹枯病和条纹叶枯病抗性达中抗(MR)以上百分率。从表 8 可知,无论是杂交中粳还是杂交晚粳,其苗瘟、穗颈瘟、条纹叶枯病抗性均明显高于常规粳稻;杂交中粳对白叶枯病、纹枯病抗性达中抗以上百分率比常规中熟中粳分别低 13.92 个百分点、5.79 个百分点,对条纹叶枯病的抗性达中抗以上的百分率比常规中熟中粳高 9.89 个百分点。杂交晚粳对白叶枯病的抗性达中抗以上百分率比常规早熟晚粳高 9.65 个百分点,而对纹枯病的抗性达中抗以上的百分率比常规早熟晚粳低 29.03 个百分点。说明杂交粳稻对苗瘟、穗颈瘟、条纹叶枯病的抗性总体强于常规粳稻,对纹枯病的抗性总体弱于常规粳稻;对白叶枯病的抗性,杂交中粳弱于常规中熟中粳,杂交晚粳强于常规早熟晚粳。

表 8 2013–2015 年江苏省杂交粳稻品种与常规粳稻品种主要病害抗性达中抗以上百分率比较

Table 8 The percentage of varieties reaching moderate resistance level to major diseases of JHR and CJR from 2013 to 2015 in Jiangsu province

品种类型	中抗以上百分率(%)				
	苗瘟	穗颈瘟	白叶枯病	纹枯病	条纹叶枯病
杂交中粳	77.14	80.00	14.29	68.57	71.43
常规中熟中粳	62.86	58.97	28.21	74.36	61.54
杂交晚粳	88.57	71.43	28.57	62.86	62.86
常规早熟晚粳	64.86	48.65	18.92	91.89	45.95

3 讨论

江苏省开展杂交粳稻育种研究较早,20 世纪 80 年代江苏省农业科学院先后育成了“六优系列”杂粳组合^[11]。江苏省杂交粳稻育种虽然取得了较大的成绩,但与生产发展的需求相比,还有很大差距。虽然育成了较多杂交粳稻组合,但在生产上推广应用的只有 9 优 418、9 优 138、86 优 8 号、常优 1 号、常优 2 号、常优 5 号等少数几个组合。总体上江苏省杂交粳稻强优势后续组合更新缓慢,近年来年种植面积一直徘徊在 $5 \times 10^4 \sim 6 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 的低谷之中,面积仅占水稻总面积的 5% 左右^[12]。究其原因,一是缺乏突破性组合,多数组合与生产上利用的常规粳稻品种相比,增产优势不明显,有的抗性或品质相对较差;二是多数不育系的开花习性差,不育性易受外部环境影响,异交结实率偏低,导致制种产量低,种子成本高;三是推广力度不够,目前生产上对杂交

粳稻基本还是套用常规粳稻的栽培模式,缺乏配套的高产栽培理论和技术研究,限制了杂交粳稻杂种优势的发挥。近年来,江苏省部分地区有籼改粳的趋势,与籼稻相比,在籼粳同季兼作地区机械化轻简栽培条件下粳稻更能充分利用温光资源,生育后期仍保持强劲生长优势,不仅能够安全成熟,而且产量高、品质优、效益好,综合生产力显著高于籼稻^[13]。因此,这给杂交粳稻的发展带来了契机。提升杂交粳稻发展空间的关键是:克服杂交粳稻增产优势不明显、抗性较差,不育系育性不稳定、杂种纯度差、制种产量低、种子成本高等问题^[2,14]。

从 2013–2015 年杂交粳稻与常规粳稻区域试验中主要农艺性状的平均值来看,与常规粳稻相比,杂交粳稻的株高明显较高,生育期较长,分蘖性较强,但成穗率不高。这表明杂交粳稻植株高大、营养生长旺盛、分蘖能力强,但如何提高杂交粳稻的成穗率是育种家与栽培学家需要进一步探讨研究的问

题^[15]。与常规粳稻相比,杂交粳稻的每穗总粒数显著或极显著增加,而有效穗数、结实率、千粒质量较低。说明杂交粳稻具有明显的大穗优势,穗大粒多是其最典型的特征。但穗型过大不利于结实率的提高,同时单位面积的穗数会相应减少,千粒质量也会相应降低^[16]。就产量而言,杂交中粳与常规中熟中粳相比没有竞争优势,但杂交晚粳与常规早熟晚粳相比具有一定的竞争优势,这可能因为杂交晚粳参试组合中有较多的“籼粳交”类型组合,而这类组合与普通的“粳粳交”组合相比产量水平明显提高。

通过对各类型品种(组合)的产量与主要农艺性状的相关分析和多元回归分析发现,产量构成因素中每穗总粒数和结实率对杂交粳稻和常规粳稻的产量影响最大。相关分析结果表明,杂交晚粳的产量与成穗率、有效穗数、千粒质量呈显著或极显著的负相关,与生育期、每穗总粒数、结实率呈显著或极显著正相关;杂交中粳的产量与株高、生育期、分蘖率呈显著或极显著负相关,与结实率、千粒质量呈极显著正相关。通过多元线性回归分析发现杂交晚粳的产量与生育期、每穗总粒数、结实率存在显著的线性效应;杂交中粳的产量与有效穗数、每穗总粒数、结实率、千粒质量存在显著的线性效应。通径分析结果显示,杂交晚粳的生育期、每穗总粒数和结实率对产量的直接通径系数(p_i)分别为0.322 4、0.614 3、0.527 1,决定系数(R^2)=0.815 5,剩余通径系数(p_e)=0.429 6;杂交中粳的有效穗数、每穗总粒数、结实率和千粒质量对产量的直接通径系数(p_i)分别为0.474 0、0.724 7、0.889 5、0.383 6,决定系数(R^2)=0.872 4,剩余通径系数(p_e)=0.357 2。这进一步说明每穗总粒数和结实率是对杂交粳稻产量贡献最大的因素。由此可见,在满足一定穗数和具备一定千粒质量的基础上,提高结实率,充分利用杂交粳稻的大穗型优势是获取高产的关键。

前人研究结果表明,株高和生育期都会影响产量^[17]。本研究结果表明,株高对杂交中粳的产量有影响,株高越高,杂交中粳的产量越低,而株高适当增加,可能会增加常规中熟中粳的产量。生育期对早熟品种的产量具有负向效应,而对晚熟品种的产量具有正向效应,说明生育期越长,早熟品种产量会有所下降,而晚熟品种产量可能会增加。但是仅通过延长生育期来提高产量是不足取的,仅通过增加株高来提高产量也是行不通的。

从杂交粳稻与常规粳稻区域试验中主要品质性状的平均值来看,与常规粳稻相比,杂交粳稻在外观品质垩白粒率和垩白度上具有一定的竞争优势。杂交中粳与常规中熟中粳相比,在蒸煮食味品质直链淀粉含量和胶稠度上具有一定的竞争优势。与常规早熟晚粳相比,杂交晚粳蒸煮食味品质直链淀粉含量和胶稠度偏低。各类型品种(组合)的垩白粒率和垩白度在品种(组合)间差异较大,是影响稻米外观品质的最重要指标。就整体而言,杂交中粳主要品质指标优质达标率与常规中熟中粳相比具有明显的竞争优势;但就单个品质指标而言,杂交中粳的直链淀粉含量优质达标率明显低于常规中熟中粳,杂交晚粳和常规早熟晚粳的直链淀粉含量优质达标率也均偏低,但杂交晚粳的直链淀粉含量优质达标率明显高于常规早熟晚粳。而在2010-2012年江苏省粳稻区域试验中,杂交中粳和杂交晚粳的直链淀粉含量优质达标率与常规粳稻相比均很高^[18],这说明杂交粳稻的直链淀粉含量的优质达标率年度之间差异较大,除受参试的品种本身直链淀粉含量高低影响外^[19],受温度影响也较大,如水稻灌浆前期温度偏高可能使有效的直链淀粉含量积累时间缩短,而造成直链淀粉积累不足^[20]。无论是杂交中粳还是杂交晚粳的垩白粒率和垩白度优质达标率均比常规中熟中粳、常规早熟晚粳要高,但是各类型品种(组合)的垩白粒率和垩白度的优质达标率总体还是偏低的,这表明垩白粒率、垩白度、直链淀粉含量是制约江苏省杂交粳稻品质性状提高的主要因素。

从抗性分析结果来看,杂交粳稻对苗瘟和穗颈瘟的抗性明显优于常规粳稻,这可能是由于参试组合中有较多“籼粳交”类型的杂交粳稻组合,该类型组合其亲本之一恢复系有较多籼稻亲缘,一般的“粳粳交”杂交粳稻组合其恢复系也有部分籼稻亲缘,而籼稻品种对稻瘟病的抗性比粳稻要好^[21-22]。杂交粳稻对纹枯病的抗性总体弱于常规粳稻,这可能是由于杂交粳稻分蘖能力强、植株生长量大、叶面积指数高,而一般情况下,水稻群体生长量越大,如果遇到连续阴雨天气更容易发生纹枯病^[23]。杂交粳稻对白叶枯病的抗性表现为杂交中粳弱于常规中熟中粳,杂交晚粳强于常规早熟晚粳;但从1996-2005年、2010-2012年江苏省粳稻区试中白叶枯病抗性鉴定结果来看,杂交粳稻对白叶枯病的抗性基本上低于常规粳稻^[18,21-22],说明今后杂交粳稻的抗病育种中应加强对抗白叶枯病亲本

资源的发掘及选育。杂交粳稻对条纹叶枯病的抗性总体强于常规粳稻,这说明育种家加强了杂交粳稻亲本抗条纹叶枯病的选育,利用抗条纹叶枯病的品种作为保持系转育成的不育系较多,也有可能参与试的杂交粳稻有较多的“籼粳交”组合有关,因籼粳交组合恢复系带有较多的籼稻亲缘,而籼稻对条纹叶枯病抗性要比粳稻强^[24]。

从江苏省近年来育成并审定的杂交粳稻组合来看,基本上都是“粳粳交”组合,各育种单位还没有一个“籼粳交”杂交粳稻组合通过审定。就目前江苏省杂交粳稻参试的组合来看,“籼粳交”组合占的比例正在逐年增加,该类型组合在产量和抗性水平上高于“粳粳交”组合,因此“籼粳交”杂交组合的选育已成为超级杂交粳稻育种的主要育种方向。浙江省开展“籼粳交”组合选育较早,已选育出甬优系列、春优系列等一批组合并通过省级或国家审定,并在生产上大面积推广应用。虽然“粳粳交”组合的产量不及“籼粳交”组合,但其具有结实率稳定、出糙率高、米质优且易栽培、适应性好等优点,深受稻米加工企业及种植农户的欢迎,近期还有一定的利用价值和发展空间。

针对杂交粳稻的有效穗数和成穗率低、结实率不高、株高过高易倒伏(株高过高也不利于机械化收割,还会带来更多的还田秸秆,影响下茬小麦的种植)等问题,今后杂交粳稻育种要在注重品质、抗性、保持大穗的基础上,选用恢复力强、丰产性好、茎秆粗壮、株高较矮的偏籼型粳稻恢复系与株高适中、早花时、柱头外露率和异交结实率均高的粳稻不育系配组,提高杂交粳稻制种产量,改良杂交粳稻的品质和抗性,并适当降低株高。这可能是杂交粳稻取得突破性进展的有效途径。

总之,江苏省杂交粳稻育种必须从亲本创新着手,加强亲本稻米外观品质的改良和综合抗病性的提高。

参考文献:

- [1] 李铮友. 溧型杂交水稻育种[M]. 昆明: 云南科技出版社, 2000: 1-15.
- [2] 王才林. 江苏省杂交粳稻育种的现状、问题与对策[J]. 西南农业学报, 2009, 22(4): 1165-1168.
- [3] 辽宁省农科院稻作所. 水稻杂种优势利用研究[M]. 北京: 农业出版社, 1977: 44-50.
- [4] 杨振玉, 陈秋栢, 陈荣芳, 等. 粳型杂交水稻“黎优57”的选育[J]. 中国农业科学, 1982(1): 38-42.
- [5] 胡忠孝, 田妍, 徐秋生. 中国杂交水稻推广历程及现状分析[J]. 杂交水稻, 2016, 31(2): 1-8.
- [6] 赵飞, 尹维娜, 华泽田, 等. 发展杂交粳稻对增加稻农收入的影响[J]. 农技服务, 2013, 30(5): 549-550.
- [7] 浦汉春, 周振玲, 徐大勇. 三系杂交粳稻发展的历史与问题[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(1): 74-77.
- [8] 邓华凤, 何强, 舒服, 等. 中国杂交粳稻研究现状与对策[J]. 杂交水稻, 2006, 21(1): 1-6.
- [9] 杨飞, 赵飞, 荆彦辉, 等. 发展杂交粳稻对我国粮食安全的影响[J]. 中国粮食经济, 2008(1): 40-41.
- [10] 褚庆全, 齐成喜, 杨飞, 等. 中国杂交粳稻发展现状、问题及其对策[J]. 作物杂志, 2005(1): 9-12.
- [11] 王才林. 江苏省杂交水稻育种的现状与展望[J]. 江苏农业科学, 2006(1): 1-7.
- [12] 吉健安, 方兆伟, 徐大勇. 江苏省江淮稻区杂交粳稻组合优势比较分析[J]. 江苏农业科学, 2006(2): 21-24.
- [13] 张洪程, 张军, 龚金龙, 等. “籼改粳”的生产优势及其形成机理[J]. 中国农业科学, 2013, 46(4): 686-704.
- [14] 汤述翥, 张宏根, 梁国华, 等. 三系杂交粳稻发展缓慢的原因及对策[J]. 杂交水稻, 2008, 23(1): 1-5.
- [15] 周龙根. 杂交粳稻与常规粳稻主要性状的比较分析[J]. 浙江农业科学, 2013(6): 643-644.
- [16] 龚金龙, 胡雅杰, 龙厚元, 等. 大穗型杂交粳稻产量构成因素协同特征及穗部性状[J]. 中国农业科学, 2012, 45(11): 2147-2158.
- [17] 王远征, 王晓菁, 李源, 等. 北方粳稻产量与品质性状及其相互关系分析[J]. 作物学报, 2015, 41(6): 910-918.
- [18] 王小虎, 钟卫国, 胡江, 等. 江苏省杂交粳稻与常规粳稻新品种主要品质性状和抗病性的比较分析[J]. 杂交水稻, 2014, 29(60): 68-72.
- [19] 龚金龙, 张洪程, 胡雅杰, 等. 灌浆结实期温度对水稻产量和品质形成的影响[J]. 生态学报, 2013, 32(2): 482-491.
- [20] 程方民, 丁元树, 朱碧岩. 稻米直链淀粉含量的形成及其与灌浆结实期温度的关系[J]. 生态学报, 2000, 20(4): 646-652.
- [21] 陈志谊, 刘永锋, 吉健安, 等. 2001~2005年江苏省水稻区试品种(系)抗病性鉴定和评价[J]. 江苏农业学报, 2006, 22(4): 384-387.
- [22] 陈志谊, 陆凡, 刘永锋, 等. 江苏省水稻主栽及区试品种抗病性鉴定和评价[J]. 江苏农业学报, 2001, 17(2): 82-86.
- [23] 张忠谋, 刘天龙, 朱元良, 等. 水稻纹枯病连续重发的原因及防治对策[J]. 现代农业科技, 2010(6): 188-190.
- [24] 范方军, 杨杰, 王军, 等. 水稻条纹叶枯病的抗性与籼粳分化的相关性[J]. 中国水稻科学, 2013, 27(5): 553-558.

(责任编辑: 张震林)