

网络出版时间:2017-12-27 09:55 DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2018.03.006
网络出版地址:<http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20171227.0954.012.html>

利用粳型杂种优势群转育恢复系各代遗传效应研究

王 坚,刘 炜

(宁夏农林科学院 农作物研究所,宁夏 永宁 750105)

[摘要] 【目的】利用不同方法将恢复基因导入粳型杂种优势生态型水稻中,分析各世代的遗传效应,为粳型杂种优势群的利用和丰富粳型杂交稻恢复系的遗传基础提供基础数据。【方法】以粳型杂种优势生态型品种高雄 13 号、嘉农育 251 和 Riw-1 为受体材料,以具有恢复基因的 C418 为供体材料,将带有恢复基因的恢复系与不同生态型杂种优势群中的品种(系)进行杂交和回交,分别对杂交和回交各世代植株的主要农艺性状进行测定与统计分析。【结果】回交选育过程中,各性状都是 F_1 代值最大, $BC_1 F_1$ 值最小,随着回交次数的增加,各世代主要农艺性状逐步接近亲本,标准差和变异系数也有减小的趋势;各性状变化幅度为单株产量>有效穗数>穗粒数>穗长>千粒质量>株高;多样性指数低,各世代变化大。杂交选育过程中,随着代数的增加,各世代主要农艺性状的标准差和变异系数下降,各家系内农艺性状差异减小趋于一致,家系间差异较大,性状类型多,整体向优良性状发展,各性状稳定的速度不同,多样性指数高,各世代变化小。【结论】杂交选育恢复系基因纯合速度慢,但具有更多的多样性;回交选育恢复系基因纯合速度快,但多样性减少。

【关键词】优势生态型;杂交;回交;杂交粳稻

【中图分类号】 S511.032

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2018)03-0043-07

Genetic effect of restorer line in every bred generation using heterotic group of japonica rice

WANG Jian, LIU Wei

(The Crop Research Institute of Ningxia Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Yongning, Ningxia 750105, China)

Abstract: 【Objective】 Restoring gene was transferred to japonica heterotic ecotype rice by various methods to analyze gene effect in every generation and offer essential data for utilization of heterotic group and diversification of genetic basis for restorer of japonica hybrid rice. 【Method】 Gaoxiong 13, Jianong 251 and Riw-1 were selected as recipients, and C418 with restoring gene was used as donor plant. Then restorers with restoring gene were subjected to cross and backcross with lines (strains) in various ecotypes heterotic groups, and primary agronomic characters of plant in every generation were measured and analyzed statistically. 【Result】 F_1 generation had the maximum values of all characters while $BC_1 F_1$ had the minimum values in backcross and breeding processes. With the increase of backcross time, the characters gradually got closer to parents, while standard deviation and variation coefficient also decreased. The changes of characters were in the order of yield per plant>effective tiller>number of grain per ear>ear length>1 000-grain weight>plant height. Genetic diversity index was low and variations in generations were large. With the increase of generation in cross breeding, standard deviation and variation coefficient decreased,

【收稿日期】 2017-01-20

【基金项目】 国家自然科学基金项目(31160273);宁夏自然科学基金项目(NZ14185);自治区农业育种专项水稻新品种选育项目(2013NYY20305)

【作者简介】 王 坚(1976—),男,宁夏永宁人,副研究员,主要从事水稻杂种优势利用研究。E-mail:wjzwssd@163.com

【通信作者】 刘 炜(1970—),男,宁夏永宁人,研究员,主要从事水稻杂种优势利用研究。E-mail:lwzws@163.com

difference within every intra-family decreased while difference between-family increased. Types of characters increased and tended to be better. Different characters had different speeds of stabilization, genetic diversity index was high, and differences among generations decreased. 【Conclusion】 Cross breeding of restorer line was characterized by slow homozygous speed and more diversity, while backcross breeding was opposite.

Key word: heterotic ecotype; cross; backcross; japonica hybrid rice

杂交粳稻通过籼粳复交,选育出含籼稻血缘的粳稻恢复系,配制出优势较强的杂交粳稻,进而在生产中推广应用,这是对杂交粳稻进行改良的一种方法。但由于杂交粳稻普遍存在亲本间遗传基础狭窄、不育系间遗传差异小和类型相似、缺乏遗传多样性、不育细胞质比较单一等缺点,导致杂种优势不明显,产量难以大幅度超越常规粳稻^[1-2]。杂种优势群对拓宽亲本间的遗传基础从而提高杂种优势具有重要的意义,在杂交玉米^[3-10]、小麦^[11-12]、谷子^[13]和油菜^[14]等作物上,均有利用杂种优势群来提高杂种优势的报道。在粳型水稻中,通过杂种优势值划分,明确了西北粳、台湾粳、日本粳和韩国粳为优势生态型^[15-17]。本研究利用这些优势生态型中的品种(系)作为受体材料,与带有恢复基因的恢复系杂交和回交,选育恢复系,在选育过程中对各代的遗传效应进行对比,旨在丰富粳型杂交稻恢复系的遗传基础,为提高恢复系的配合力提供理论数据。

1 材料与方法

1.1 材 料

受体材料为粳型优势生态群品种台湾梗高雄 13 号、台湾梗嘉农育 251 和美国梗 Riw-1。供体材料为具有恢复基因(*Rf1a*)的 C418。

1.2 方 法

1.2.1 回交选育 以 C418 为父本,各生态型的品种(系)为母本,在抽穗期人工去雄授粉,得到 F₁ 代种子,以 F₁ 代种子为父本,再与受体材料继续杂交得到 BC₁F₁ 代种子。种植 BC₁F₁ 代种子和受体材料,在苗期对 BC₁F₁ 代植株进行有 *Rf1a* 基因与无 *Rf1a* 基因分子检测,对有 *Rf1a* 和无 *Rf1a* 基因植株个数进行 χ^2 检测,选择符合 1:1 的群体中有恢复基因的植株为父本继续与受体材料杂交,或直接进行恢复性测定,留下具有恢复性的植株与受体材料杂交种,通过以上方法得到 BC₂F₁ 代和 BC₃F₁ 代种子。将受体材料与 C418 回交的 F₁、BC₁F₁、BC₂F₁、BC₃F₁ 和亲本种植在宁夏农林科学院农作物研究所的实验基地,大棚育秧,单株插秧,行距 27

cm,株距 10 cm,正常田间管理,收获时将各代群体所有植株挂牌、单株带根取样,阴干后考种。

1.2.2 杂交选育 以供体材料 C418 为父本,各生态型的品种(系)为母本,在抽穗期人工去雄授粉,得到 F₁ 代种子。种植 F₁ 代种子,进行田间鉴定,收获 F₂ 种子。种植 F₂,收获时连续取 50 株单株考种,选取综合性状好的植株编号,得到 F₃ 种子。种植每个家系 20 株,收获时每个家系连续取 5 株单株考种,选取综合性状好的植株编号,得到 F₄ 种子。F₄ 按 F₃ 的方法继续种植、取样考种。

1.2.3 *Rf1a* 基因的检测 在高雄 13 号和梗嘉农育 251 回交或杂交各代水稻植株 3~4 叶期,取新鲜叶片,采用 CTAB 法提取 DNA。

根据文献[18],由上海生工生物工程技术服务有限公司合成引物 Rfa-7F 和 Rfa-7R,引物序列为: Rfa-7F: 5'-GGACCGGGGGATTTCACCTG-3', Rfa-7R: 5'-AACCCAACTGAGACCATGCC-3'。对回交或杂交各代植株进行 PCR 扩增,反应体系为 20 μL,其中 10×Buffer(含 Mg²⁺ 15 mmol/L)2 μL, dNTP(各 2.5 mmol/L)1 μL, 100 μmol/L 的 Rfa-7F 和 Rfa-7R 引物各 0.1 μL, 1 U 的 Taq 酶,DNA 模板 1 μL,加 ddH₂O 补足 20 μL。PCR 反应程序: 94 °C 预变性 5 min; 94 °C 变性 30 s, 60 °C 退火 30 s, 72 °C 延伸 40 s, 共 35 个循环; 最后 72 °C 延伸 10 min。对 PCR 产物进行 1% 琼脂糖凝胶电泳,用 Gold-View 核酸染料染色后在紫外灯下观察,并用凝胶成像系统拍照。有 *Rf1a* 基因的植株可扩增出 957 bp 的片段,无 *Rf1a* 基因的植株可扩增出 383 bp 的片段。

1.3 数据处理

各农艺性状数据的处理及相关系数的计算在 Excel 和 DPS 中进行。先计算参试材料各性状的总体平均值(\bar{X})和标准差(σ),然后以 0.5 σ 为一级对各性状进行分级,计算遗传多样性指数(Genetic diversity index):遗传多样性指数 $I = -\sum P_i \ln P_i$,其中 P_i 为某性状第 i 级别内材料个数占总份数的百分比。遗传多样性大小用遗传多样性指数 I 表

示^[19]。

2 结果与分析

2.1 粳型杂种优势群回交法转育恢复系各代主要农艺性状的比较

由表1可以看出, F_1 株高代明显高于亲本(P)和其他回交各代, 标准差和变异系数与亲本接近; BC_1F_1 代株高明显降低, 但随着回交代数的增加, 株高逐步增加并与轮回亲本接近。有效穗数各回交世代变化较大, 在 F_1 代有效穗数都较高, 但在 BC_1F_1 代明显减少, 标准差和变异系数也较低, 随着回交代数的增加, 有效穗数逐步增加, 其标准差也在增加,

变异系数也较高。穗长的变化较小, F_1 代最长, BC_1F_1 代减小, 到 BC_2F_1 代达到最短, BC_3F_1 代开始增长, 与轮回亲本的穗长接近。各回交世代单株产量变化很大, 平均变异系数超过50%; 整体看 F_1 代单株产量最高, BC_1F_1 代或 BC_2F_1 代最低, 随着回交代数的增加, 单株产量逐步接近亲本。千粒质量各回交世代变化较小, 最大值出现在 F_1 代, 最小值多出现在 BC_2F_1 代, 随着回交代数的增加, 恢复系的千粒质量与轮回亲本接近, 两代间的变化幅度较小。穗粒数各回交世代变化较大, BC_1F_1 或 BC_2F_1 代最低, 随着回交代数的增加, 恢复系与轮回亲本的穗粒数越来越接近。

表1 粳型杂种优势群回交选育恢复系各代的主要农艺性状

Table 1 Main agronomic characters of restorer line for backcross generations in japonica heterotic group

受体材料 Receptor	世代 Generation	株高 Plant height		有效穗数 Panicles per plant		穗长 Panicle length	
		平均值/cm Mean	变异系数/% Coefficient variation	平均值/cm Mean	变异系数/% Coefficient variation	平均值/cm Mean	变异系数/% Coefficient variation
高雄13号 Gaoxiong 13	亲本 P	93.2±2.8	3.0	13.8±4.4	32.0	16.7±1.0	6.2
	F_1	103.7±3.7	3.6	15.6±6.2	39.7	20.3±1.9	9.3
	BC_1F_1	91.2±3.5	3.8	11.0±2.6	23.7	17.5±1.7	10.0
	BC_2F_1	92.2±3.2	3.4	19.1±8.6	44.8	16.4±1.2	7.1
	BC_3F_1	93.3±4.3	4.1	19.8±13.0	65.6	16.3±1.1	6.7
嘉农育251 Jianong 251	亲本 P	92.0±4.8	5.3	10.8±4.3	39.7	18.7±0.8	4.3
	F_1	106.6±4.5	4.2	18.2±8.1	44.4	21.0±1.8	8.7
	BC_1F_1	96.6±7.5	7.7	11.9±5.3	44.8	18.7±1.6	8.5
	BC_2F_1	88.0±6.0	6.8	12.3±5.5	45.1	17.8±1.3	7.0
	BC_3F_1	93.5±7.1	7.6	16.7±6.8	40.9	18.2±1.5	8.2
Riw-1	亲本 P	93.8±5.6	6.0	9.6±2.1	21.6	19.9±0.4	2.0
	F_1	100.0±5.2	5.2	22.4±9.5	42.4	20.3±2.0	9.6
	BC_1F_1	85.2±11.2	13.2	9.0±3.1	34.6	18.0±1.6	8.8
	BC_2F_1	95.7±4.2	4.4	12.0±6.0	49.7	17.9±0.9	4.9
	BC_3F_1	95.7±1.5	1.6	27.8±10.7	38.6	18.6±1.0	5.4
受体材料 Receptor	世代 Generation	单株产量 Yield/plant		千粒质量 1 000-grain weight		穗粒数 Spikelets per panicle	
		平均值/cm Mean	变异系数/% Coefficient variation	平均值/cm Mean	变异系数/% Coefficient variation	平均值/cm Mean	变异系数/% Coefficient variation
高雄13号 Gaoxiong 13	亲本 P	21.0±6.6	31.5	24.7±1.0	4.1	64.4±12.1	18.7
	F_1	42.3±26.0	61.5	25.9±0.93	3.6	108.0±35.5	32.9
	BC_1F_1	18.7±3.4	18.2	25.9±1.2	4.8	74.4±17.2	23.1
	BC_2F_1	19.5±8.3	42.7	23.4±1.5	6.3	61.1±16.7	27.3
	BC_3F_1	19.1±13.4	68.4	25.0±1.6	6.4	73.4±29.1	29.2
嘉农育251 Jianong 251	亲本 P	13.5±7.5	55.9	21.6±0.61	2.7	123.8±21.9	17.8
	F_1	52.7±28.6	54.2	24.7±1.2	5.1	143.4±24.9	17.4
	BC_1F_1	20.3±13.4	65.9	23.5±1.8	7.6	95.7±32.5	34.0
	BC_2F_1	8.9±4.2	47.2	19.4±2.2	11.6	108.4±18.8	17.3
	BC_3F_1	12.2±6.5	53.5	19.8±3.0	15.3	115.0±23.5	20.4
Riw-1	亲本 P	11.2±4.4	39.4	19.4±0.7	3.8	121.5±30.7	25.2
	F_1	37.3±34.2	91.7	25.1±1.6	6.4	109.6±20.8	19.0
	BC_1F_1	11.5±8.7	76.0	22.6±2.2	9.6	89.3±33.1	37.1
	BC_2F_1	11.5±9.3	81.1	21.7±2.8	13.1	110.1±31.4	28.5
	BC_3F_1	17.2±3.7	21.7	20.0±0.8	3.9	117.7±10.6	9.0

总体而言, 各农艺性状 F_1 代最大, 大部分性状 BC_1F_1 代最小, 个别性状 BC_2F_1 代最小, 随着回交

次数的增加, 各性状逐步接近亲本值, 标准差和变异系数也有减小趋势。各性状变化幅度: 单株产量>

有效穗数>穗粒数>穗长>千粒质量>株高。

2.2 穗型杂种优势群杂交系谱法选育恢复系各代主要农艺性状比较

恢复系各代单株主要农艺性状见表 2。由表 2 可以看出,株高从低代到高代逐步增加,标准差减小,变异系数也在减小,表明株高的性状趋于稳定。有效穗数单株间的变化幅度较大,各代变异系数都在 30% 以上,其中 F_3 代有效穗数最高,标准差和变异系数最大,到 F_4 代有效穗数下降,标准差和变异系数也下降。穗长各代间变化较小,同一代各单株的变化也较小,表明穗长在系谱法选育过程中整体较稳定。单株产量在 F_2 代很低,变异系数最大,到

F_3 代单株产量大幅度提高,标准差也大幅增加,但变异系数减小, F_4 代单株产量与 F_3 相当,标准差和变异系数均减小,表明 F_2 代通过人工选择性状优良的单株,单株产量在 F_3 代逐步趋于稳定。千粒质量各代间变化较小,同一代各单株的变化也较小,整体较稳定。穗粒数的标准差和变异系数都较大,通过对 F_2 代进行人工选择, F_3 代穗粒数增大,标准差和变异系数变化幅度不大,对 F_3 代再次进行人工选择,到 F_4 代穗粒数小幅度增加,标准差和变异系数也减小,表明人工选择后穗粒数从 F_3 代就趋于稳定。

表 2 穗型杂种优势群杂交系谱法选育恢复系各代的主要农艺性状

Table 2 Main agronomic characters of restorer line for pedigree method in japonica heterotic group

材料 Parent	世代 Generation	株高 Plant height		有效穗数 Panicles per plant		穗长 Panicle length	
		平均值/cm Mean	变异系数/% Coefficient variation	平均值/cm Mean	变异系数/% Coefficient variation	平均值/cm Mean	变异系数/% Coefficient variation
高雄 13 号 Gaoxiong 13	F_2	97.8±14.5	14.8	7.0±2.8	39.6	20.0±2.8	13.9
	F_3	98.4±14.3	14.5	10.9±4.2	38.6	19.3±2.2	11.5
	F_4	108.2±9.8	9.1	9.0±3.5	38.7	20.8±2.2	10.5
嘉农育 251 Jianong 251	F_2	88.6±12.8	14.4	5.7±2.0	34.3	18.9±1.7	9.0
	F_3	96.6±15.5	16.0	12.9±6.8	53.0	20.3±2.6	12.7
	F_4	99.0±11.2	11.3	9.6±3.8	39.1	19.8±2.4	12.1
Riw-1	F_2	91.3±10.9	12.0	8.9±3.4	37.6	16.6±2.8	16.6
	F_3	107.4±8.5	8.0	12.3±5.0	40.5	18.7±2.1	11.0
	F_4	109.5±7.2	6.6	11.8±3.8	32.3	18.7±1.4	7.8
材料 Parent	世代 Generations	单株产量 Yield/plant		千粒质量 1 000-grain weight		穗粒数 Spikelets per panicle	
		平均值/cm Mean	变异系数/% Coefficient variation	平均值/cm Mean	变异系数/% Coefficient variation	平均值/cm Mean	变异系数/% Coefficient variation
高雄 13 号 Gaoxiong 13	F_2	5.8±4.7	80.9	21.4±2.5	11.6	66.8±32.7	48.9
	F_3	25.3±14.1	55.9	24.0±2.3	9.6	130.0±35.3	27.2
	F_4	25.1±15.2	60.7	25.2±2.5	9.8	141.7±40.6	28.6
嘉农育 251 Jianong 251	F_2	7.0±5.3	75.4	22.3±3.0	13.6	94.9±30.1	31.7
	F_3	19.8±15.0	75.7	22.9±5.0	21.6	115.2±40.0	34.7
	F_4	24.7±11.1	45.1	24.2±1.8	7.4	151.8±36.6	24.1
Riw-1	F_2	2.5±4.1	163.3	23.0±4.1	17.7	48.4±22.9	47.4
	F_3	28.4±13.6	47.9	24.5±4.0	16.2	135.6±38.4	28.3
	F_4	25.3±8.8	34.9	23.3±2.7	11.8	134.7±30.3	22.5

系谱法选育各性状随着代数的增加,标准差和变异系数不断下降,各家系内差异减小趋于一致,家系间差异较大,性状类型多,整体向优良性状发展。各性状稳定的速度不同,如有效穗数、穗长和千粒质量各代间差异较小;株高各代增高的幅度小,呈现缓慢增长;单株产量和穗粒数从 F_2 到 F_3 明显增加, F_4 时增加幅度减小,家系内也趋于稳定。

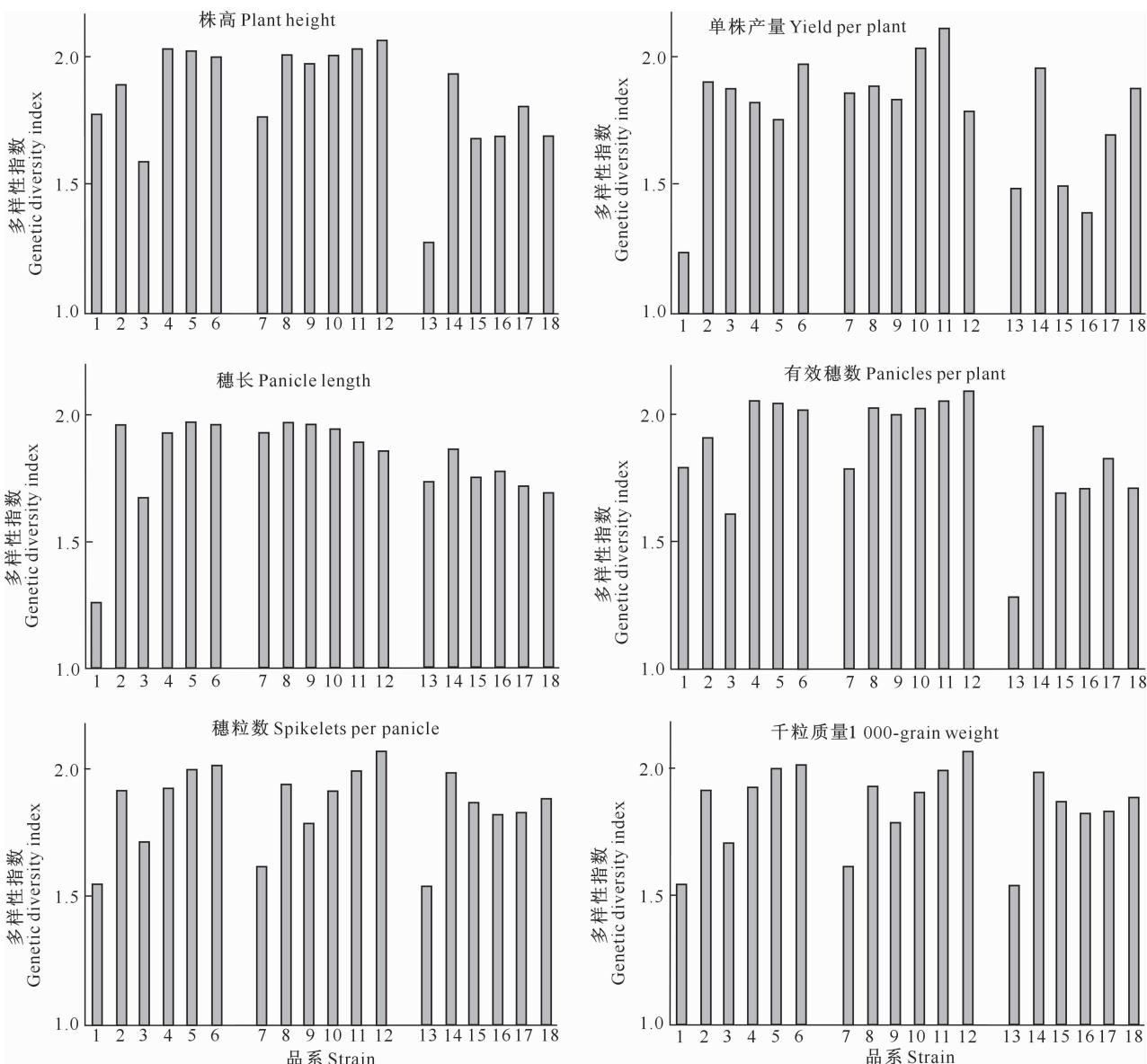
2.3 回交法和杂交法转育恢复系各代主要农艺性状的多样性

由图 1 可知,回交各世代中 BC_2F_1 代株高的遗传多样性指数最高;杂交法选育各代的株高多样性指数整体较高,各代间差异较小;杂交法各世代株高

的多样性指数较回交法高。回交各世代中 BC_2F_1 代单株产量的遗传多样性指数最高,杂交法选育的各代的单株产量多样性指数整体较高。不同品种回交各世代穗长的多样性指数变化比杂交各世代穗长多样性指数变化大, BC_2F_1 穗长的多样性指数较 BC_1F_1 和 BC_3F_1 都高;杂交法选育各代的穗长多样性指数高,变化相对较小,随着代数的增加多样性指数有下降的趋势,但下降幅度很小。杂交法各世代有效穗数多样性指数处于较高的水平,世代间变化较小;回交各世代中 BC_2F_1 有效穗数多样性指数最高。杂交法各世代穗粒数的多样性指数处于较高的水平,世代间变化较小,整体高于回交各世代的多样

性指数;回交各世代穗粒数的多样性指数变化较大,BC₂F₁穗粒数的多样性指数比BC₁F₁和BC₃F₁都高。回交各世代千粒质量的多样性指数变化较大,BC₁F₁最低,BC₂F₁最高;杂交法各世代千粒质量的多样性指数处于较高的水平,世代间变化较小,随世代的增加遗传多样性指数小幅度增加。

整体来看,杂交法选育的各代6个性状的多样性指数较高,各代间差距较小;回交法选育的各代6个性状多样性指数较杂交法的低,各世代变化较大,所有品种和性状BC₂F₁的多样性指数均较BC₁F₁和BC₃F₁高。



1~3 分别为以高雄 13 号为受体回交选育的 BC₁F₁、BC₂F₁ 和 BC₃F₁ 恢复系;4~6 分别为以高雄 13 号为亲本杂交选育的 F₂、F₃ 和 F₄ 恢复系;7~9 分别为以嘉农育 251 为受体回交选育的 BC₁F₁、BC₂F₁ 和 BC₃F₁ 恢复系;10~12 分别为以嘉农育 251 为亲本杂交选育的 F₂、F₃ 和 F₄ 恢复系;13~15 分别为以 Riw-1 为受体回交选育的 BC₁F₁、BC₂F₁ 和 BC₃F₁ 恢复系,16~18 分别为以 Riw-1 为亲本杂交选育的 F₂、F₃ 和 F₄ 恢复系

1~3 are BC₁F₁, BC₂F₁ and BC₃F₁ with Gaoxiong 13 as recipient to backcross for restorer line; 4~6 are F₂, F₃ and F₄ with Gaoxiong 13 as parent to cross for restorer line; 7~9 are BC₁F₁, BC₂F₁ and BC₃F₁ with Jianong 251 as recipient to backcross for restorer line; 10~12 are F₂, F₃ and F₄ with Jianong 251 as parent to cross for restorer line; 13~15 are BC₁F₁, BC₂F₁ and BC₃F₁ with Riw-1 as recipient to backcross for restorer line; 16~18 are F₂, F₃ and F₄ that Riw-1 as parent to cross for restorer line

图 1 梗型杂种优势群回交和杂交选育的不同世代恢复系主要农艺性状的遗传多样性指数

Fig. 1 Genetic diversity indexes of primary agronomic characters of restorer line for backcross and cross generations in japonica heterotic group

2.4 稗型杂种优势群 F_2 代主要农艺性状与恢复基因的相关性

结果表明,高雄 13 号与 C418 杂交的 F_2 代有 15 株无 $Rf1a$ 基因,35 株有 $Rf1a$ 基因 ($\chi^2 = 0.4267, P=0.5136$),有无 $Rf1a$ 基因的株数符合 3 : 1 的分离比;嘉农育 251 与 C418 杂交的 F_2 代有 17 株无 $Rf1a$ 基因,33 株有 $Rf1a$ 基因 ($\chi^2 =$

表 3 稗型杂种优势群有 $Rf1a$ 基因和无 $Rf1a$ 基因 F_2 代主要农艺性状的比较

Table 3 Comparison of main agronomic characters of $Rf1a$ and no $Rf1a$ of F_2 in japonica heterotic group

材料 Parent	项目 Item	株高/cm Plant height	有效穗数 Panicles per plant	穗长/cm Panicle length	单株产量/g Yield/plant	千粒质量/g 1 000-grain weight	穗粒数 Spikelets per panicle
嘉农育 251 Jianong 251	无 $Rf1a$ 基因 No $rfla$ gene	90.2	5.7	19.0	6.8	21.9	95.1
	有 $Rf1a$ 基因 $Rf1a$ gene	87.9	5.7	18.9	7.4	22.6	92.4
	F 值 F value	1.3547	1.6696	1.1268	1.7173	1.8253	2.0145
	P 值 P value	0.4598	0.2229	0.8329	0.2878	0.2563	0.1038
高雄 13 号 Gaoxiong 13	无 $Rf1a$ 基因 No $Rf1a$ gene	96.1	7.5	19.2	5.3	21.4	61.6
	有 $Rf1a$ 基因 $Rf1a$ gene	98.7	6.7	20.1	6.0	21.4	69.5
	F 值 F value	1.0394	1.1992	3.5666	1.4464	1.1869	1.2340
	P 值 P value	0.8911	0.6403	0.0094	0.4390	0.6657	0.6705

3 讨 论

粳稻中无雄性不育系的恢复基因,粳稻恢复系中的恢复基因主要来自籼稻^[20]。恢复基因对粳稻主要农艺性状是否有影响,本研究结果表明,粳型优势生态群中台湾梗高雄 13 号和嘉农育 251 与带有恢复基因的 C418 杂交的 F_2 代中,有 $Rf1a$ 基因与无 $Rf1a$ 基因植株在农艺性状上无差别,说明在农艺性状上无法判断转育的植株是否具有恢复性。

各生态型粳稻与恢复系杂交,利用系谱法选育,将亲本的优点组合到一起选育优良恢复系。本试验在筛选恢复系时,不同性状各代的多样性指数整体较高,各代间差距较小,随着代数的增加,标准差和变异系数下降,各家系内差异减小趋于一致,家系间差异较大,性状类型多,整体向优良性状发展。各性状稳定的速度不同,如有效穗数、穗长和千粒质量各代间差异小;株高各代增高的幅度小,且呈现缓慢增长;单株产量和穗粒数 F_2 到 F_3 明显增加,到 F_4 时增加幅度减小,家系内也趋于稳定。

回交育种能快速地向轮回亲本引入其他优良性状,并可以定向杂交、定向选择、定向控制杂种群体,是聚合优良基因、建拓基因库、提高选育自交系及杂交种效率的有效方法^[21-23],已被广泛应用到水稻育种和恢复系改良研究中^[24-27]。由于供体、回交代数及遗传特性的不同,各代性状表现不同,但随着

1.7067, $P=0.1914$),有无 $Rf1a$ 基因的株数符合 3 : 1 的分离比。成熟时将所有植株取回室内晾干考种,对有 $Rf1a$ 基因与无 $Rf1a$ 基因植株进行 F 检验,结果(表 3)表明,所有性状的差异均未达到显著水平,表明有 $Rf1a$ 基因与无 $Rf1a$ 基因植株在农艺性状上无差别。

回交代数的增加,杂合基因型逐步减少,纯合基因型逐步增加^[28]。本试验利用回交对各生态型粳稻进行转育,转育的恢复系各代主要农艺性状值 F_1 代最大,大部分性状值在 BC_1F_1 最小,随着回交次数的增加,恢复系的性状逐步接近亲本值,标准差和变异系数也有减小的趋势。各性状变化幅度:单株产量>有效穗数>穗粒数>穗长>千粒质量>株高。各世代多样性指数变化较大, BC_2F_1 多样性指数均比 BC_1F_1 和 BC_3F_1 高,随着回交次数的增加,多样性在 BC_2F_1 达到最高值,再继续回交其多样性减小。这可能是由于 BC_1F_1 是 F_1 与 P 杂交的后代, F_1 虽然是杂合基因型,但各基因的频率是均匀分布的,到 BC_2F_1 各基因出现了分离和组合,但随着回交次数的增加杂合基因型减少,纯合基因型增加,故 BC_3F_1 的多样性下降。利用回交转育获得的各生态型粳稻恢复系后代的农艺性状标准差、变异系数和多样性指数比杂交选育获得的恢复系小,这是由于杂交后代的自交群体是来自不同材料的基因重组,具有较多的基因型和表型,而回交的基因型主要来自轮回亲本,基因型相对简单。

[参考文献]

- [1] 邓凤华,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.
Deng H F, He Q, Shu F, et al. Status and technical strategy on

- development of japonica hybrid rice in China [J]. Hybrid Rice, 2006, 21(1): 1-6.
- [2] 邱福林,庄杰云,华泽田,等.北方杂交粳稻骨干亲本遗传差异的 SSR 标记检测 [J].中国水稻科学,2005,19(2):101-104.
Qiu F L, Zhuang J Y, Hua Z T, et al. Inspect of genetic differentiation of main parents of japonica hybrid rice in the Northern China by simple sequence repeats(SSR) [J]. Chinese Journal of Rice Science, 2005, 19(2): 101-104.
- [3] 孙 琦,李文才,张发军,等.2001—2012年国审玉米品种亲本自交系系谱来源分析 [J].玉米科学,2014,22(6):6-11,15.
Sun Q, Li W C, Zhang F J, et al. Analysis on the pedigree of the parental lines of the maize hybrids approved by the nation from 2001 to 2012 [J]. Journal of Maize Sciences, 2014, 22(6): 6-11, 15.
- [4] 李 娟,陈泽辉,王安贵,等.美国先锋玉米杂交种选系的杂种优势利用模式 [J].西南农业学报,2014,27(2):485-490.
Li J, Chen Z H, Wang A G, et al. Heterosis utilization patterns of pioneer hybrids lines in maize [J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2014, 27(2): 485-490.
- [5] 陈 灿,员海燕,雷云天.玉米改良群体 MM 中选系的产量配合力及杂种优势分析 [J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2013,41(3):93-98.
Chen C, Yun H Y, Lei Y T. Analysis of yield combining ability and heterosis of selective lines from the improved maize population MM [J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition), 2013, 41(3): 93-98.
- [6] 黎 裕,王天宇.我国玉米育种种质基础与骨干亲本的形成 [J].玉米科学,2010,18(5):1-8.
Li Y, Wang T Y. Germplasm base of maize breeding in China and formation of foundation parents [J]. Journal of Maize Sciences, 2010, 18(5): 1-8.
- [7] 刘志斋,吴 迅,刘海利,等.基于 40 个核心 SSR 标记揭示的 820 份中国玉米重要自交系的遗传多样性与群体结构 [J].中国农业科学,2012,45(11):2107-2138.
Liu Z Z, Wu X, Liu H L, et al. Genetic diversity and population structure of important Chinese maize inbred lines revealed by 40 core simple sequence repeats (SSRs) [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2012, 45(11): 2107-2138.
- [8] 吴敏生,王守才,戴景瑞. AFLP 分子标记在玉米优良自交系优势群划分中的应用 [J].作物学报,2000,26(1):9-13.
Wu M S, Wang S C, Dai J R, et al. Application of AFLP marker to heterotic grouping of elite maize inbred lines [J]. Acta Agronomica Sinica, 2000, 26(1): 9-13.
- [9] 袁力行,傅骏骅,张世煌,等.利用 RFLP 和 SSR 标记划分玉米自交系杂种优势群的研究 [J].作物学报,2001,27(2):149-156.
Yuan L X, Fu J H, Zhang S H, et al. Heterotic grouping of maize inbred lines using RFLP and SSR markers [J]. Acta Agronomica Sinica, 2001, 27(2): 149-156.
- [10] 黄益勤,李建生.利用 RFLP 标记划分 45 份玉米自交系杂种优势群的研究 [J].中国农业科学,2001,34(3):244-250.
Huang Y Q, Li J S. Classification of hererotic groups with RFLPS among 45 maize inbred lines [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2001, 34(3): 244-250.
- [11] 逯腊虎,李振兴,倪中福,等.小麦杂种优势群研究:VI.普通小麦与穗分枝小麦、轮回选择后代材料、西藏半野生小麦和斯卑尔脱小麦早熟诱变系的 SSR 分子标记遗传差异研究 [J].麦类作物学报,2007,27(2):201-206.
Lu L H, Li Z X, Ni Z F, et al. Study on wheat heterotic group: VI. Genetic diversity revealed by SSR marker between common wheat, ear-branched wheat, wheat lines derived from recurrent selection, Tibetan wheat and early spelt wheat mutant lines [J]. Journal of Triticeae Crops, 2007, 27(2): 201-206.
- [12] 史秀秀,毕晓静,马守才,等.黄淮麦区杂交小麦亲本的杂种优势和配合力分析 [J].麦类作物学报,2013,33(6):1111-1118.
Shi X X, Bi X J, Ma S C, et al. Combining ability and heterosis in hybrid wheat of parents from Huang-huai wheat production area [J]. Journal of Triticeac Crops, 2013, 33(6): 1111-1118.
- [13] 刘正理.谷子杂种优势群的构建方法及研究进展 [J].河北农业科学,2010,14(11):102-104.
Liu Z L. Establish method of heterotic group in foxtail millet and its research progress [J]. Journal of Hebei Agricultural Sciences, 2010, 14(11): 102-104.
- [14] 邹小云,宋来强,陈伦林,等.利用 SRAP 标记划分甘蓝型油菜杂种优势群 [J].江西农业学报,2011,23(4):1-4.
Zhou X Y, Song L Q, Chen L L, et al. Classification of heterosis groups for rapeseed (*Brassica napus*) by SRAP markers [J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 2011, 23(4): 1-4.
- [15] 刘 炜,李自超,史延丽,等.试用配合力进行梗型水稻杂种优势生态型的划分 [J].作物学报,2004,30(1):66-72.
Liu W, Li Z C, Shi Y L, et al. Heterotic ecotypes grouping of japonica rice by combining ability [J]. Acta Agronomica Sinica, 2004, 30(1): 66-72.
- [16] 刘 炜,史延丽,马洪文,等.根据杂种优势值划分梗型水稻杂种优势生态型 [J].西北植物学报,2005,25(1):64-69.
Liu W, Shi Y L, Ma H W, et al. Study on heterotic ecotypes of japonica rice based on the heterosis [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2005, 25(1): 64-69.
- [17] 刘 炜,史延丽,李自超,等.梗型水稻杂种优势生态型与杂种优势模式的研究 [J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2005,33(1):108-114.
Liu W, Shi Y L, Li Z C, et al. Studies on heterotic ecotypes and heterotic patters of japonica rice [J]. Journal of Northwest A&F University(Natural Science Edition), 2005, 33(1): 108-114.
- [18] 王 坚,刘 炜.杂交梗稻 BT 型雄性不育恢复基因功能标记优化研究 [J].宁夏农林科技,2015,56(10):29-33.
Wang J, Liu W. A study of optimization of functional markers for restorer gene of BT-type cytoplasmic male sterility [J]. Ningxia Journal of Agriculture and Forestry Science and Technology, 2015, 56(10): 29-33.

- of the wetland site on dry southern slopes of the Alborz Mts., Iran: the role of altitude in floristic composition [J]. Flora, 2008, 204(4): 254-269.
- [32] 张全军,于秀波,胡斌华.鄱阳湖南矶湿地植物群落分布特征研究 [J].资源科学,2013,35(1):42-49.
Zhang Q J, Yu X B, Hu B H. Research on the characteristics of plant communities in the Poyang Nanji wetlands, China [J]. Resources Science, 2013, 35(1): 42-49.
- [33] 崔心红,钟扬,李伟,等.特大洪水对鄱阳湖水生植物三个优势种的影响 [J].水生生物学报,2000,24(4):322-325.
Cui X H, Zhong Y, Li W, et al. The effect of catastrophic flood on biomass and density of three dominant aquatic plant species in the Poyang Lake [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2000, 24(4): 322-325.

(上接第 49 页)

- [19] 陈小龙,马利奋,李培富,等.宁夏粳稻种质资源表型性状遗传多样性分析 [J].中国农学通报,2013,29(33):43-49.
Chen X L, Ma L F, Li P F, et al. Genetic diversity of japonica rice varieties in Ningxia province by using phenotypic character [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2013, 29(33): 43-49.
- [20] 金成海,高明晶,周广春,等.北方杂交粳稻恢复系育种研究进展 [J].现代农业科技,2014(23):63-64.
Jin C H, Gao M J, Zhou G C, et al. Research advance on restorer lines of japonica hybrid rice in Northern China [J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2014(23): 63-64.
- [21] 乔善宝,王玉花,杨克诚,等.不同供体及不同回交次数对玉米自交系 R08 的改良效应 [J].作物学报,2009,35(12):2187-2196.
Qiao S B, Wang Y H, Yang K C, et al. Effects contributed by different donor parents and backcross times on R08 improvement [J]. Acta Agronomica Sinica, 2009, 35(12): 2187-2196.
- [22] 潘家驹.作物育种学总论 [M].北京:中国农业出版社,1994: 68-74.
Pan J J. Crop breeding [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1994: 68-74.
- [23] 胡延吉.植物育种学 [M].北京:高等教育出版社,2003: 21-23.
Hu Y J. Plant breeding [M]. Beijing: Higher Education Press, 2003: 21-23.
- [24] 胡巍,李艳芳,胡侃,等.分子标记辅助选择抗褐飞虱基因改良桂农占的 BPH 抗性 [J].分子植物育种,2015,13(5): 951-960.
Hu W, Li Y F, Hu K, et al. Improving BPH-resistance of rice cultivar Guinongzhan by marker-assisted selection for BPH-resistant genes [J]. Molecular Plant Breeding, 2015, 13(5): 951-960.
- [25] 杨平,邹国兴,陈春莲,等.利用分子标记辅助选择改良春恢 350 稻瘟病抗性 [J].分子植物育种,2015,13(4):741-747.
Yang P, Zou G X, Chen C L, et al. Improvement of rice blast resistance of Chunhui 350 by using molecular marker assisted selection [J]. Molecular Plant Breeding, 2015, 13(4): 741-747.
- [26] 赵秀琴,徐建龙,朱苓华,等.利用高代回交导入系定位水、旱条件下影响水稻根系及产量的 QTL [J].中国农业科学,2008,41(7):1887-1893.
Zhao X Q, Xu J L, Zhu L H, et al. QTL mapping of yield and root traits under irrigation and drought conditions using advanced backcrossing introgression lines in rice [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2008, 41(7): 1887-1893.
- [27] 向小娟,张建,郑天清,等.应用分子标记技术改良京作 1 号的稻瘟病抗性 [J].植物遗传资源学报,2016,17(4):773-780.
Xiang X J, Zhang J, Zheng T Q, et al. Improving blast resistance of Jingzuo 1 using molecular marker technique [J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2016, 17(4): 773-780.
- [28] 张天真.作物育种学总论 [M].北京:中国农业出版社,2003: 80-90.
Zhang T Z. Crop breeding [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2003: 80-90.