

分子标记辅助选择改良水稻恢复系 R1005 的褐飞虱抗性

闫成业 MAMADOU Gandeka 朱子建 牟同敏

华中农业大学作物遗传改良国家重点实验室/国家植物基因研究中心, 武汉 430070

摘要 以抗褐飞虱材料 B5(携带 *Bph14* 和 *Bph15* 基因)为供体亲本, 水稻优良恢复系 R1005 为受体亲本, 通过杂交、回交和分子标记辅助选择技术, 将 *Bph14* 和 *Bph15* 基因同时导入到 R1005 中, 经过农艺性状选择和褐飞虱抗性鉴定, 选育出 3 个携带 *Bph14* 和 *Bph15* 基因的纯合株系 CY11711-14、CY11712-5 和 CY11714-100。苗期褐飞虱抗性鉴定结果表明, 3 个株系对褐飞虱表现高抗水平, 田间生育期观察、主要农艺性状考查及稻米品质分析表明, 株系 CY11712-5 和 CY11714-100 与受体亲本 R1005 没有显著差异, 可以代替 R1005 用于抗褐飞虱恢复系使用。以 3 个育成株系为父本与 3 个不育系 Q2A、天丰 A 和川农 1A 配制杂交组合进行苗期褐飞虱抗性鉴定, 结果显示 *Bph14*、*Bph15* 基因在杂合状态下表现不抗褐飞虱。结果表明 *Bph14* 和 *Bph15* 基因在本试验中不表现显性效应。

关键词 水稻; 褐飞虱; *Bph14*; *Bph15*; 分子标记辅助选择

中图分类号 S 511; Q 785 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2014)05-0008-07

褐飞虱是水稻的主要虫害之一, 为单食性害虫, 只能以水稻和普通野生稻为食和繁殖后代, 主要通过吸食水稻汁液、产卵时刺伤稻株茎叶组织、传播或诱发水稻病害(草状丛矮病、齿叶矮缩病等)等方式对水稻产生危害, 严重影响水稻的产量及品质^[1]。据统计仅 1974—1997 年间, 我国就有 8 次大规模的褐飞虱爆发, 累计危害面积高达 11 651 万 hm^2 次^[2]; 2003—2008 年我国褐飞虱连年大发生, 2011 年我国褐飞虱发生面积累计达 2 402 万 hm^2 次^[3-4]。化学防治可以很大程度上减轻褐飞虱对水稻的危害, 但化学防治会增加生产成本, 并且会造成环境污染。生产实践证明培育并种植具有抗性的品种是控制褐飞虱危害最经济、环保和有效的方法^[5]。

在 20 世纪 80 年代我国就先后育成了一批含 *Bph1* 基因的抗性品种, 这些品种大面积推广对当时褐飞虱的控制起到了重要的作用, 然而随着褐飞虱生物型发生变化, 这批老品种的抗性逐渐降低^[6]。吕仲贤等^[7]通过对 1986—2000 年国家和浙江省育种攻关协作组提供的 3 328 份水稻新品系和新品种

进行抗褐飞虱鉴定, 发现育成的抗性品种比率呈逐年下降趋势; 彭兆普等^[8]对湖南省杂交水稻主要推广品种和部分区试材料共 328 份进行苗期抗褐飞虱鉴定, 发现推广的品种中没有抗褐飞虱品种, 只有 5 份区试材料表现抗或中抗水平。因此, 利用新的抗褐飞虱基因, 选育和推广新的抗褐飞虱品种显得尤为重要。

水稻褐飞虱抗性鉴定工作始于 20 世纪 60 年代末, Pathak 等^[9]第 1 次鉴定出栽培稻 Mudgo 为抗褐飞虱品种, 随后 Athwal 等^[10]从 Mudgo、Manavari CO22 和 Dalwa Sannam MTU15 等 3 个品种中鉴定出第 1 个褐飞虱抗性基因 *Bph1*, 并从 Kasamba Red ASD7 中鉴定出 1 个抗褐飞虱隐性基因 *bph2*。截至目前, 已经有 28 个褐飞虱抗性基因被鉴定、定位或克隆, 其中有 17 个为显性基因, 其余为隐性基因。这些基因中 *Bph1*、*Bph3*、*Bph9*、*Bph15*、*bph2* 先后被精细定位^[11], *Bph14* 被克隆^[12], 此外, 科学家还鉴定了一些重要的抗性 QTL 位点^[11, 13-14]。借助分子标记辅助选择技术, 育种工

收稿日期: 2013-06-13

基金项目: 国家“863”计划项目(2012AA101101)和湖北省研究与开发计划项目(2011BBB003)

闫成业, 硕士研究生, 研究方向: 水稻遗传育种, E-mail: byg@webmail.hzau.edu.cn

通信作者: 牟同敏, 教授, 研究方向: 水稻遗传育种, E-mail: tongmin58@mail.hzau.edu.cn

作者已将抗性较好的基因导入不同的恢复系、保持系、不育系中^[14-20],培育出对褐飞虱具有较好抗性的材料。

R1005 是重庆市种子子公司培育的优良恢复系,以 R1005 与不育系 Q2A 配制的杂交组合 Q 优 6 号先后通过贵州、重庆、湖南、湖北等省(市)审定,并于 2006 年通过国家审定^[11,21],但易感褐飞虱。本研究以携带褐飞虱抗性基因 *Bph14* 和 *Bph15* 的水稻材料 B5 为抗源,以 R1005 为受体材料,通过杂交、回交和分子标记辅助选择,将 *Bph14* 和 *Bph15* 基因渗入到 R1005 的背景中,旨在培育携带 *Bph14* + *Bph15* 双基因的抗褐飞虱新恢复系。

1 材料与方法

1.1 水稻材料及选育方法

试验在华中农业大学试验农场进行。以 B5(携带 *Bph14* 和 *Bph15* 基因)为供体亲本,以 R1005 为受体亲本,杂交得到的 F₁ 代种子于 2009 年夏播种,对种植的 20 个单株使用与 *Bph14*、*Bph15* 基因遗传距离分别为 1.0、0.3 cM 的分子标记 MRG2329、Ms5 进行目标基因选择,得到同时携带 2 个基因的单株与 R1005 回交,在 20 株 R1005/B5 BC₁F₁ 中筛选出 9 株 *Bph14*、*Bph15* 基因杂合单株,然后继续与 R1005 回交得到 BC₂F₁ 代种子,在 20 株 BC₂F₁ 中筛选出携带 *Bph14*、*Bph15* 基因的杂合单株 5 株,然后继续与 R1005 回交得到 BC₃F₁ 代种子,在 20 株 BC₃F₁ 植株中根据分子检测结果并结合株型选择,得到 6 株 *Bph14* 与 *Bph15* 基因杂合、株型与 R1005 相似的单株。对收获的 6 株 BC₃F₂ 代种子分区种植,每区种植 100 株,通过分子标记辅助选择共筛选出 24 株 *Bph14* + *Bph15* 双基因纯合单株,结合与 R1005 株型相比较,最终收获 3 株株型与 R1005 相似的双基因纯合株系,用于后续研究。

在分子检测过程中标记 MRG2329 的引物正反序列分别为 5'-GCACATACAGAAATGGTGAA -3'、5'-GGCAAGGGACATGTAGTAAC -3',标记 Ms5 的引物正反序列分别为 5'-TTGTGGGTCCTCATCTCCTC-3'、5'-TGACAACTTGTGCAAGATCAAA-3'^[16,22]。

1.2 DNA 提取与 PCR 检测

DNA 提取参照 Murray 等^[23]的方法进行。引物由英潍捷基(上海)贸易有限公司合成。DNA 扩增在 Biometra 公司的 TProfessional Standard 96

型 PCR 仪上进行,扩增反应体系的总体积为 20 μ L,其中包括 2.0 μ L 的模板 DNA,11.8 μ L 的灭菌 ddH₂O,1.8 μ L 的 Mg²⁺ (25 mmol/L), 1.8 μ L 的 dNTP (2 mmol/L),2.0 μ L 的 Buffer (10 \times),正反引物各 0.2 μ L,0.2 μ L 的 *Taq* 酶 (5 U/ μ L)。PCR 扩增反应程序为: 95 $^{\circ}$ C 4 min; 94 $^{\circ}$ C 30 s, 55 $^{\circ}$ C 30 s, 72 $^{\circ}$ C 45 s, 35 个循环; 72 $^{\circ}$ C 延伸 10 min。扩增产物经制备好的 6% 的聚丙烯酰胺凝胶 (PAGE) 电泳检测,银染法显带。

1.3 苗期褐飞虱抗性鉴定方法

褐飞虱抗性鉴定采用苗期集团法,根据 IR-RI^[24] 及笔者所在实验室前期试验方法改进而来:将试验材料分为若干组,每组 15 份,每组包含受体亲本 R1005、供体亲本 B5、抗褐飞虱对照 RH、感褐飞虱对照 TN1 以及 3 份选出的携带 *Bph14*、*Bph15* 基因的株系材料和杂交组合,2 次重复。供试材料浸种催芽后,播种在高 9 cm、口径为 10 cm \times 10 cm、底部有孔的小塑料盒中,将小塑料盒随机放在 52.0 cm \times 33.5 cm \times 7.5 cm 的大塑料盒中,保持大塑料盒中一直有水。待秧苗达 3 叶 1 心时,每株人工接种 15~20 头 2~3 龄的褐飞虱若虫,置于纱网室中,自然光照,室温 25~30 $^{\circ}$ C。

接虫 7~10 d 后,按照表 1 的评价标准进行褐飞虱抗性鉴定及评价。在 TN1 受害达 7 级时开始查苗分级,之后每日调查 1 次,直至感虫对照 TN1 全部达到 9 级,以感虫对照达 9 级时各鉴定材料的受害最高等级作为抗性等级。

表 1 褐飞虱抗性分级标准

Table 1 Scale standards for brown planthopper resistance identification		
抗虫级别 Resistance score	苗期褐飞虱危害表现 Scale standards	抗性水平 ¹⁾ Resistance level
0	植株健康,未受到伤害	免疫 I
1	受害极轻微(1 片叶轻微发黄)	高抗 HR
3	大部分植株第 1、2 片叶部分黄化	抗 R
5	10%~25% 植株叶片显著发黄或枯萎	中抗 MR
7	超过 50% 植株叶片显著发黄或枯萎,其余严重矮化	中感 MS
9	全部植株枯死	感 S

1) I: Immunity; HR: High resistance; R: Resistance; MR: Medium resistance; MS: Medium susceptible; S: Susceptible; 下同 The same as below.

1.4 育成株系和杂交组合的生育期及主要农艺性状考查

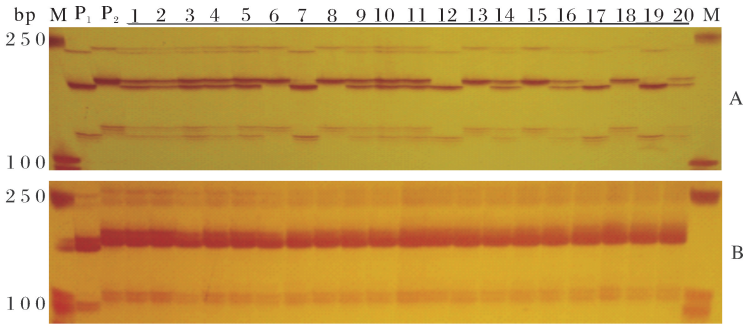
将选出的 3 个携带 *Bph14*+*Bph15* 双基因纯合株系及以三系不育系 Q2A、天丰 A 和川农 1A 为母本配制的杂交组合,于 2012 年 5 月 9 日播种,6 月 3 日移栽,3 行区,每行移栽 10 株苗共 30 株,单本插,移栽密度为株距 16.7 cm、行距 20.0 cm,3 次重复。田间管理按照常规方法进行,同时注意防治田间病虫害。生育期及主要农艺性状考查参照田雨等^[25]的方法进行。育成株系及杂交组合的稻米品质分析参照《国家优质稻谷标准(GB/T17891—1999)》进行。

2 结果与分析

2.1 株系选择过程及分子检测结果

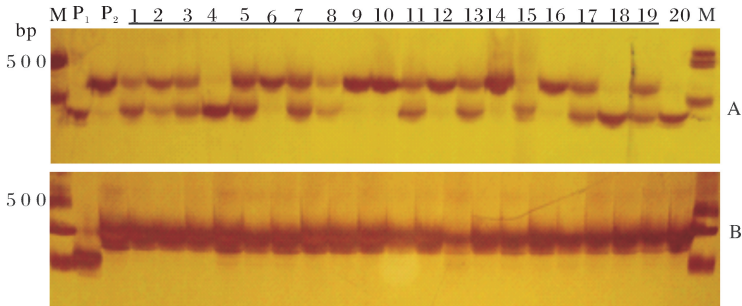
2009 年配制 F₁ 杂交种,以后每年分别在武汉

和海南进行回交或自交,图 1A 和图 2A 分别为 2011 年夏季在武汉用标记 MSG2329 和 Ms5 筛选 BC₃F₂ 代株系 *Bph14*、*Bph15* 基因的部分单株分子检测结果。可以看出,杂合单株同时含有父本(供体亲本 B5)、母本(受体亲本 R1005)双亲的 3 个双条带,阳性纯合单株只有与 B5 相同的 3 个单条带,隐性纯合单株只有与 R1005 相同的 3 个单条带。在分子检测的基础上,田间选择农艺性状与受体亲本相似、分子标记检测目标基因纯合的 3 个单株(CY11711-14、CY11712-5 和 CY11714-100)。2012 年春季对种植在海南的 3 个 BC₃F₃ 代株系进行同样标记的分子检测,每个株系取 20 株,图 1B 和图 2B 为其中 1 个株系分子检测结果,可以看出每个单株与供体亲本均有相同的 3 个单条带,表明所选育的株系均含有纯合的目标基因。



M:5 kb marker; P₁:受体亲本 R1005; P₂:供体亲本 B5; 泳道 1~20:BC₃F₂ 代(A)分离群体单株,BC₃F₃ 代(B)基因纯合株系。
M:5 kb marker; P₁:Recipient parent R1005; P₂:Donor parent B5; Lane 1-20:Plants of BC₃F₂ (A) segregation population, bred line with homozygous target R-genes(B).

图 1 BC₃F₂ 代分离群体(A)及选育的 BC₃F₃ 代纯合株系(B) 中 *Bph14* 基因分子检测结果
Fig.1 The result of molecular detection of *Bph14* in BC₃F₂ (A) plants,BC₃F₃ (B) line,respectively



M:5 kb marker; P₁:受体亲本 R1005; P₂:供体亲本 B5; 泳道 1~20:BC₃F₂ 代(A)分离群体单株,BC₃F₃ 代(B)基因纯合株系。
M:5 kb marker;P₁:Recipient parent R1005;P₂:Donor parent B5;Lane 1-20:Plants of BC₃F₂ (A) segregation population, bred line with homozygous target R-genes(B).

图 2 BC₃F₂ 代分离群体(A)及选育的 BC₃F₃ 代纯合株系(B)中 *Bph15* 基因分子检测结果
Fig.2 The result of molecular detection of *Bph15* in BC₃F₂ (A) plants,BC₃F₃ (B) line,respectively

2.2 育成株系的苗期褐飞虱抗性鉴定

2012 年夏季在华中农业大学作物遗传国家重点实验室,以受体亲本 R1005、供体亲本 B5、感虫品种 TN1、抗虫品种 RH 为对照,对选择的 3 个株系 CY11711-14、CY11712-5 和 CY11714-100 进行褐飞虱抗性鉴定。从抗性鉴定结果(图 3,表 2)可以看出,当感虫品种 TN1 全部枯死时(9 级),受体亲本

R1005 也全部枯死(9 级),而供体亲本 B5 和抗虫对照 RH 基本没有受到危害,表现抗褐飞虱(1 级),3 个中选株系 CY11711-14、CY11712-5 和 CY11714-100 也表现抗褐飞虱(1 级)。

2.3 杂交组合的苗期褐飞虱抗性鉴定

2012 年春季在海南,以 Q2A、天丰 A 和川农 1 A 为母本,与 3 个中选株系和 R1005 杂交,配制了



图 3 中选株系与亲本及对照品种的褐飞虱抗性鉴定结果

Fig. 3 The resistance of parents, improved lines and control varieties against brown planthopper

表 2 育成株系的褐飞虱抗性鉴定结果(2012,武汉)
Table 2 Resistance of the restorers against BPH in greenhouse (2012, Wuhan)

材料 Materials	抗性基因 R-genes	抗性级别 Resistance score	抗性水平 Resistance level
CY11711-14	<i>Bph14</i> + <i>Bph15</i>	1	HR
CY11712-5	<i>Bph14</i> + <i>Bph15</i>	1	HR
CY11714-100	<i>Bph14</i> + <i>Bph15</i>	1	HR
R1005	未知 Unknown	9	S
B5	<i>Bph14</i> + <i>Bph15</i>	1	HR
TN1	未知 Unknown	9	S
RH	<i>Bph3</i>	1	HR

12 个组合。夏季在武汉对 12 个杂交组合和相应的亲本进行了苗期抗性鉴定。鉴定结果(表 3)表明,3 个不育系、3 个对照杂交组合及 9 个携带 *Bph14*+*Bph15* 双基因的杂交组合在苗期均不抗褐飞虱,且 2 次重复结果一致。但从抗性变化趋势来看,当感虫对照 TN1 受害达到 7 级(中感)时,携带 *Bph14*、

Bph15 基因的 9 个杂交组合均表现出一定的抗性,随着褐飞虱继续取食,这些杂交组合最终都表现不抗。这一结果表明,褐飞虱抗性基因 *Bph14* 和 *Bph15* 在本研究中表现为非显性。

2.4 育成株系的生育期、产量、主要农艺性状及稻米品质表现

将选育的 3 个育成新株系与 R1005 进行比较,10 个主要农艺性状的比较分析结果表明(表 4),株系 CY11711-14 的单株有效穗数、每穗实粒数及单株产量与 R1005 无差异,但生育期比 R1005 长 1.7 d;其他 2 个株系的株高、平均穗长及结实率与 R1005 无差异,但单株有效穗数多于 R1005,生育期比 R1005 缩短 2.7 d,单株产量显著高于 R1005。稻米品质分析表明(表 5),株系 CY11712-5、CY11714-100 的碾米品质、蒸煮食味品质及粒型与 R1005 相似,垩白粒率和垩白度表现比 R1005 有所降低。

表 3 杂交组合及对照的褐飞虱抗性鉴定结果

Table 3 Resistance of hybrid combinations and controlls against BPH in greenhouse

材料 Materials	抗性基因 R-genes	鉴定评分 Identification code			抗性评价 Resistance
		7 月 23 日	7 月 24 日	7 月 25 日	
		23 July	24 July	25 July	
R1005	未知 Unknown	3	7	9	9(S)
B5	<i>Bph14</i> + <i>Bph15</i>	1	1	1	1(HR)
TN1	未知 Unknown	7	9	9	9(S)
RH	<i>Bph3</i>	1	1	1	1(HR)
Q2A	未知 Unknown	7	9	9	9(S)
Q2A/CY11711-14	<i>Bph14</i> + <i>Bph15</i>	5	8	9	9(S)
Q2A/CY11712-5	<i>Bph14</i> + <i>Bph15</i>	3	5	8	9(S)
Q2A/CY11714-100	<i>Bph14</i> + <i>Bph15</i>	4	7	9	9(S)
Q2A/R1005	未知 Unknown	6	9	9	9(S)
天丰 A Tianfeng A	未知 Unknown	3	7	9	9(S)
天丰 A Tianfeng A/CY11711-14	<i>Bph14</i> + <i>Bph15</i>	3	7	9	9(S)
天丰 A Tianfeng A/CY11712-5	<i>Bph14</i> + <i>Bph15</i>	3	6	8	9(S)
天丰 A Tianfeng A/CY11714-100	<i>Bph14</i> + <i>Bph15</i>	2	5	9	9(S)
天丰 A Tianfeng A/R1005	未知 Unknown	3	9	9	9(S)
川农 1A Chuannong 1A	未知 Unknown	3	6	9	9(S)
川农 1A Chuannong 1A/CY11711-14	<i>Bph14</i> + <i>Bph15</i>	2	7	9	9(S)
川农 1A Chuannong 1A/CY11712-5	<i>Bph14</i> + <i>Bph15</i>	3	7	9	9(S)
川农 1A Chuannong 1A/CY11714-100	<i>Bph14</i> + <i>Bph15</i>	5	7	9	9(S)
川农 1A Chuannong 1A/R1005	未知 Unknown	5	7	9	9(S)

表 4 中选株系与 R1005 的主要农艺性状的比较¹⁾

Table 4 Comparison of main agronomic traits between CY11711-14,CY11712-5,CY11714-100 and R1005

材料 Materials	播始历期/d DH	株高/cm PH	单株有效 穗数 PP	平均穗长/cm PL	每穗总 粒数 SP	每穗实 粒数 GP	结实率/% SSR	着粒密度/ (粒/cm) D	千粒重/g GW	单株产 量/g YP
CY11711-14	88.7 *	126.2 * *	9.3	27.8 *	116.1 * *	106.3	91.70 * *	4.2 * *	37.04 * *	32.02
CY11712-5	84.3 * *	114.2	11.8 *	25.7	112.6 * *	90.9 * *	80.62	4.4 * *	32.07	36.18 * *
CY11714-100	84.3 * *	113.4	10.0	26.5	113.2 * *	93.6 * *	82.22	4.3 * *	34.43 * *	35.43 *
R1005	87.0	117.0	8.8	25.9	138.2	112.1	81.23	5.3	32.35	33.66

1)DH:Duration from seeding to heading; PH:Plant height; PP:Panicles per plant; PL:Panicle length; SP:Spikelets per panicle; GP:Grains per panicle; SSR:Seed setting ratio; GD:Grain density; GW:1 000-grains weight; YP:Yield per plant; * 表示 0.05 水平显著 * shows significant at 0.05 level, * * 表示 0.01 水平显著 * * shows significant at 0.01 level.

表 5 中选株系与 R1005 的稻米品质分析结果¹⁾

Table 5 Quality characteristics of CY11711-14,CY11712-5,CY11714-100 and R1005

株系 Materials	糙米率/% BR	精米率/% MR	整精米率/% HR	整白粒率/% CGP	整白度/% CD	粒长/mm GL	长宽比 L/W	直链淀粉 含量/% AC	胶稠度/mm GC	碱消值 ASV
CY11711-14	79.40	68.70	55.97	76.9	27.3	7.1	3.1	11.4	92	2.0
CY11712-5	78.16	67.43	58.12	28.9	8.4	7.1	3.4	13.7	74	3.7
CY11714-100	80.29	68.72	58.50	23.8	7.8	7.0	3.1	13.8	73	6.0
R1005	78.56	66.85	57.72	44.6	12.0	7.0	3.2	12.6	80	2.0

1)BR:Brown rice rate;MR:Milled rice rate;HR:Head rice rate;CGP: Chalky grain rate;CD:Chalkiness degree;GL:Grain length; L/W:Length/wide ratio;AC: Amylase content;GC:Gel consistency;ASV:Alkali spread value.

3 讨论

3.1 分子标记辅助选择可以明显加快褐飞虱抗性改良的进程

利用分子标记辅助选择技术进行回交育种,较早的工作主要集中在稻瘟病和白叶枯病抗性改良,而传统的褐飞虱抗性育种主要是在大量抗性鉴定的基础上进行杂交和抗性鉴定筛选。但是褐飞虱抗性鉴定受环境因素影响较大,需要充足的虫源,费时费力,可能会筛选出假阳性单株或淘汰抗性较好的株系材料。而分子标记技术不受这些限制,在低世代只对目标基因进行选择,无需进行抗性鉴定,当株系基因纯合、性状稳定时再进行抗虫性鉴定。本研究利用分子标记辅助选择技术与田间农艺性状选择相结合,仅用3a就获得抗性水平与供体亲本一致的株系。本研究在杂交、回交及基因分离世代,利用分别与 *Bph14*、*Bph15* 基因紧密连锁的标记 MRG2329、Ms5 进行筛选,最终筛选出3个 *Bph14*+*Bph15* 双基因纯合株系。对 BC₃F₄ 代苗期接虫鉴定及 BC₃F₅ 代成株期田间自然诱发鉴定的结果表明,育成的3个株系均未受到褐飞虱危害。结合生育期、主要农艺性状及稻米品质分析结果,认为株系 CY11712-5、CY11714-100 可作为优良的抗褐飞虱资源。与传统的褐飞虱抗性育种相比,应用分子标记辅助选择技术,可以明显地提高育种的准确性和效率,从而加速育种进程。

3.2 杂交水稻的褐飞虱抗性改良

李进波等^[5]以携带 *Bph14* 基因、苗期褐飞虱抗性鉴定表现中抗水平的 R476 为父本,与不育系广占 63-4S 配制杂交组合广两优 476,苗期抗性鉴定表现中感水平;张晓^[26]对配制的携带 *Bph14*+*Bph15* 双基因及 *Bph15* 单基因共计 263 份杂交组合进行苗期抗性鉴定表明,绝大多数组合不抗褐飞虱,仅有 34 份杂交组合表现中抗水平,且抗性较好的多为以广抗 13A 为母本配制的杂交组合。本研究结果也表明,3 个中选的携带 *Bph14*+*Bph15* 双基因的抗褐飞虱株系与 3 个不育系配制的 9 个杂交组合,在苗期鉴定均不抗褐飞虱。但是,胡杰等^[18]的研究结果指出,以携带 *Bph14*+*Bph15* 双基因的明恢 63 后代株系配制的杂交组合,苗期对褐飞虱表现中抗或抗性水平。对比发现,抗性水平存在差异的原因,可能是因为褐飞虱的接虫量不同。由于褐

飞虱是群集性危害的,在选育褐飞虱抗性品种时,应在较高虫压下进行筛选。本研究中选育的 3 个 *Bph14*+*Bph15* 双基因纯合株系,在高虫压下表现良好的抗性,但是所配杂种几乎是不抗褐飞虱的。因此,在对 *Bph14*、*Bph15* 基因的利用上,用于纯系品种,褐飞虱抗性效果是非常好的,本研究中选育的 3 个株系具有较好的应用价值;但是,在杂种优势利用中,*Bph14*、*Bph15* 基因在杂合状态下表现不抗褐飞虱,因此要培育抗褐飞虱杂交品种,除了要培育抗性好的恢复系以外,同时还要选育抗性较好的不育系,这样才可能配制出抗性好的杂交组合。

参 考 文 献

- [1] 丁锦华,苏建亚. 农业昆虫学(南方本)[M]. 北京:中国农业出版社,2002:163-169.
- [2] 程遐年,吴进才,马飞. 褐飞虱研究与防治[M]. 北京:中国农业出版社,2003:26-32.
- [3] 林拥军,华红霞,何予卿,等. 水稻褐飞虱综合治理研究与示范——农业公益性行业专项“水稻褐飞虱综合防控技术研究”进展[J]. 应用昆虫学报,2011,48(5):1194-1201.
- [4] 全国农业技术推广服务中心. 2012 年全国水稻重大病虫害发生趋势预报[J]. 农药,2012(3):171.
- [5] 李进波,万丙良,夏明元,等. 抗褐飞虱水稻品种的培育及其抗性表现[J]. 应用昆虫学报,2011,48(5):1348-1353.
- [6] 陈峰,傅强,罗举,等. 苗期抗性不同的水稻品种成株期对褐飞虱的抗性[J]. 中国水稻科学,2009,23(2):201-206.
- [7] 吕仲贤,俞晓平,陶林勇,等. 水稻新品种(系)对褐飞虱抗性的评价[J]. 中国农业科学,2002,35(2):225-229.
- [8] 彭兆普,马明勇,邓丽芬,等. 水稻品种(系)对褐飞虱抗性评价和分析[J]. 湖南农业科学,2009(10):82-84.
- [9] PATHAK M D, CHENG C H, FORTUNO M E. Resistance to *Nephotettix impicticeps* and *Nilaparvata lugens* in varieties of rice[J]. Nature, 1969, 223:502-504.
- [10] ATHWAL D S, PATHAK M D, BACALANGCO E H, et al. Genetics of resistance to brown planthopper and green leafhopper in *Oryza sativa* L. [J]. Crop Science, 1971, 11(5):747-750.
- [11] 国家水稻数据中心. 已定位抗褐飞虱基因在水稻染色体组上分布情况(以粳稻品种日本晴测序图谱为基准) [DB/OL]. http://www.ricedata.cn/gene/gene_bph.htm.
- [12] DU B, ZHANG W L, LIU B F, et al. Identification and characterization of *Bph14*, a gene conferring resistance to brown planthopper in rice. [J]. Proc Natl Acad Sci USA, 2009, 106(52):22163-22168.
- [13] 杨震,彭选明,彭伟正,等. 水稻褐飞虱抗性基因研究进展[J]. 生物技术通报,2011(8):15-20.

[14] 刘开雨,卢双楠,裴俊丽,等. 培育水稻恢复系抗稻褐飞虱基因导入系和聚合系[J]. 分子植物育种,2011,9(4):410-417.

[15] SHARMA P N, TORII A, TAKUMI S, et al. Marker-assisted pyramiding of brown planthopper (*Nilaparvata lugens* Stål) resistance genes *Bph1* and *Bph2* on rice chromosome 12[J]. Hereditas,2004,140:61-69.

[16] 李进波,夏明元,戚华雄,等. 水稻抗褐飞虱基因 *Bph14* 和 *Bph15* 的分子标记辅助选择[J]. 中国农业科学,2006,11(1):2123-2137.

[17] 陈英之,陈乔,孙荣科,等. 改良水稻对稻褐飞虱的抗性研究[J]. 西南农业学报,2010,23(4):1099-1106.

[18] 胡杰,李信,吴昌军,等. 利用分子标记辅助选择改良杂交水稻的褐飞虱和稻瘟病抗性[J]. 分子植物育种,2010,8(6):1180-1187.

[19] 阳海宁,韦绍丽,李孝琼,等. 标记辅助培育水稻抗稻褐飞虱和稻白叶枯病基因聚合系[J]. 分子植物育种,2010,8(1):11-19.

[20] HU J, CHENG M X, GAO G J, et al. Pyramiding and evaluation of three dominant brown planthopper resistance genes in the elite *indica* rice 9311 and its hybrids [J]. Pest Management Science,2012,DOI:10. 1002/ps. 3437.

[21] 李贤勇,钟世良,陆剑志,等. 优质杂交籼稻新组合 Q 优 6 号超高产栽培技术[J]. 杂交水稻,2006,21(5):54-55.

[22] YANG H Y, YOU A Q, YANG Z F, et al. High-resolution genetic mapping at the *Bph15* locus for brown planthopper resistance in rice (*Oryza sativa* L.) [J]. Theoretical and Applied Genetics,2004,110:182-191.

[23] MURRAY M G, THOMPSON W F. Rapid isolation of high molecular weight plant DNA [J]. Nucleic Acids Research, 1980,8(19):4321-4325.

[24] IRRI. Standard evaluation system for rice[M]. Los Banos:IRRI,2002:20.

[25] 田雨,徐俊英,李春海,等. 水稻品种 9311 的螟虫抗性改良和抗螟虫杂交稻组合选育[J]. 中国农业科学,2011,44(4):664-672.

[26] 张晓. 抗褐飞虱水稻恢复系的创建[D]. 武汉:华中农业大学图书馆,2012.

Improving the brown planthopper resistance of rice restorer line R1005 with molecular marker-assisted selection

YAN Cheng-ye MAMADOU Gandeka ZHU Zi-jian MOU Tong-min

National Key Laboratory of Crop Improvement/National Center of Plant Gene Research(Wuhan), Huazhong Agricultural University,Wuhan 430070,China

Abstract Brown planthopper (BPH) is one of the serious pests in rice production of China. The breeding of rice varieties with resistance against BPH is an effective way to control this pest. Rice line B5 carrying two brown planthopper resistance genes *Bph14* and *Bph15* was used as donor parent to cross and backcross with recipient parent R1005 with molecular marker-assisted selection. Three lines (CY11711-14,CY11712-5 and CY11714-100) carrying *Bph14* and *Bph15* genes were bred through identifying the BPH resistance and evaluating main agronomic traits. The results showed that all three bred lines were highly resistant to BPH. The results of evaluating yield,growth duration,main agronomic and quality traits showed that CY11712-5 and CY11714-100 were similar as the recipient parent R1005. Both nine hybrids from crossing three bred lines with the Q2A,Chuannong 1A,Tianfeng A and three bred lines were not resistant against BPH,indicating that *Bph14* and *Bph15* genes did not have the dominant effect in the experiment.

Key words rice; brown planthopper (BPH); *Bph14*; *Bph15*; molecular marker-assisted selection

(责任编辑:张志钰)