

蔡之军,周德银,高荣村,等. 水稻抗褐飞虱基因 *Bph14* 和 *Bph15* 在粳稻育种上的应用[J]. 江苏农业学报, 2016, 32(2): 257-261.
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2016.02.003

水稻抗褐飞虱基因 *Bph14* 和 *Bph15* 在粳稻育种上的应用

蔡之军¹, 周德银², 高荣村¹, 王建华³, 李金军¹

(1.浙江省嘉兴市农业科学研究院,浙江 嘉兴 314016; 2.江苏省兴化市农业委员会,江苏 兴化 225700; 3.江苏省里下河地区农业科学研究所,江苏 扬州 225007)

摘要: 以 B5 为褐飞虱抗性供体亲本,以粳稻品种(品系)嘉隆 17B 和嘉 58 为受体亲本,通过杂交、回交和标记选择,获得 *Bph14*-嘉隆 17B、*Bph15*-嘉隆 17B、*Bph14/Bph15*-嘉隆 17B 及 *Bph14*-嘉 58、*Bph15*-嘉 58、*Bph14/Bph15*-嘉 58 导入系。苗期和抽穗期抗性鉴定结果显示,在苗期 *Bph14/Bph15*-嘉隆 17B 或 *Bph14/Bph15*-嘉 58 的抗性级别为 1.0 级(高抗),*Bph14*-嘉隆 17B 或 *Bph14*-嘉 58、*Bph15*-嘉隆 17B 或 *Bph15*-嘉 58 抗性为 3.0~7.0 级(抗、中抗、中感),双基因导入系抗性显著高于单基因导入系;同时发现 *Bph14*-嘉隆 17B 抗性水平(4.56 级)低于 *Bph14*-嘉 58 (2.50 级),*Bph15*-嘉隆 17B 抗性水平(3.80 级)高于 *Bph15*-嘉 58 (5.86 级);抽穗期的抗性水平与苗期表现一致或接近。说明 *Bph14*、*Bph15* 在粳稻背景中能够表达,但表达水平因背景不同而有差异,水稻苗期的抗性可作为抗性品种选育的参考依据,利用分子标记技术辅助选育抗褐飞虱粳稻品种是切实可行的。

关键词: 粳稻; 褐飞虱; 导入系; 分子标记辅助选择

中图分类号: S511.034 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2016)02-0257-05

Application of brown planthopper-resistant genes *Bph14* and *Bph15* in *Japonica* rice breeding

CAI Zhi-jun¹, ZHOU De-yin², GAO Rong-cun¹, WANG Jian-hua³, LI Jin-jun¹

(1. Jiaxing Academy of Agricultural Sciences, Zhejiang Province Jiaxing 314016, China; 2. Xinghua Agricultural Commission, Xinghua 225700, China; 3. Institute of Agricultural Sciences of the Lixiahe Districtin Jiangsu Province, Yangzhou 225007, China)

Abstract: A rice line B5, with *Bph14* and *Bph15* genes controlling the resistance to brown planthopper (BPH), was crossed with Jialong17B and Jia58, two *Japonica* varieties developed in Zhejiang province. The introgression lines, *Bph14*-Jia58, *Bph15*-Jia58, *Bph14/Bph15*-Jia58 and *Bph14*-Xiushui134, *Bph15*-Xiushui134, *Bph14/Bph15*-Xiushui134, were obtained via crossing, backcrossing and marker-assisted selection. The resistances to BPH were higher in double-gene introgression lines *Bph14/Bph15*-Jialong17B and *Bph14/Bph15*-Jia58 (highly resistant) than those in single gene introgression lines (resistant, moderately resistant and moderately susceptible). Line *Bph14*-Jia58 was more resistant than line *Bph14*-Jialong17B, but line *Bph15*-Jialong17B was more resistant than line *Bph15*-Jia58 at seedling stage. At heading stage, the resistance levels of most introgression lines were consistent with those at seedling stage. This study indicates that

Bph14 and *Bph15* genes from B5 could be expressed in *Japonica*, and expression levels varied with the background. The selection of BPH-resistance could be conducted at seedling stage for marker-assisted selection of BPH-resistant *Japonica*.

Key words: *Japonica* rice; brown planthopper; introgression line; marker-assisted selection(MAS)

收稿日期:2015-12-03

基金项目:浙江省嘉兴市重点项目(2012AZ1004);浙江省重大项目(2010C1202)

作者简介:蔡之军(1978-),男,安徽泗县人,硕士,农艺师,主要从事杂交粳稻育种研究。(Tel) 13067625579; (E-mail) czj982002@126.com

通讯作者:李金军, (E-mail) lijinjunjx@163.com

褐飞虱是中国水稻生产上最重要的害虫之一^[1]。20世纪90年代以来,褐飞虱在中国的发生和危害十分频繁和严重,每年受害的水稻面积约占总种植面积的50%,年均损失稻谷达 $1.0 \times 10^9 \sim 1.5 \times 10^9$ kg,在1991、1996年损失均超过 2.5×10^9 kg,2005年仅苏皖浙沪4省市损失就接近 2.5×10^9 kg^[2]。目前,防治褐飞虱主要是使用化学杀虫剂,但滥用杀虫剂易导致褐飞虱产生抗药性再次猖獗和环境污染等问题^[3]。实践证明,选育并应用抗虫品种是控制褐飞虱种群最经济有效的方法之一。然而有关研究表明,影响水稻品种对稻飞虱的抗性筛选的因素很多,如供试水稻品种的苗龄、种子纯度、稻飞虱虫源性质、虫量、虫龄等,采用常规方法进行抗虫鉴定以及培育抗虫品种尤为困难,而随着分子生物学的发展,分子标记技术有望能够解决这一难题^[4]。吕仲贤等对1999—2002年浙江省水稻育种攻关协作组提供的水稻品种(系)进行抗虫性鉴定,发现浙江省水稻褐飞虱的抗性品种检出率有明显的下降趋势^[5]。以浙江省嘉兴市农业科学研究院选育的浙北粳稻品种每年在浙江杭嘉湖地区及整个长三角地区占据60%以上覆盖面积,其褐飞虱抗性水平直接决定该地区水稻生产状况^[6]。武汉大学将药用野生稻中的抗源导入栽培稻并育成了高抗褐飞虱品系B5,对褐飞虱生物型1、2型和在武昌大田捕捉的褐飞虱均具有高抗性,其抗性机制表现为拒虫性和抗生性,是一份较理想的抗虫材料^[7]。然而迄今为止,利用B5培育出的抗褐飞虱材料(品系)均为籼稻背景,粳稻背景的尚未见报道。本研究以B5为抗褐飞虱基因*Bph14*、*Bph15*的供体亲本,以浙北粳稻品种嘉58和嘉隆17B为受体亲本,通过杂交、回交和标记选择将*Bph14*、*Bph15*基因导入粳稻中并研究抗性基因的表达。

1 材料与方法

1.1 供试材料

抗稻褐飞虱亲本为B5,武汉大学何光存教授提供,是典型的籼稻类型;高感亲本为综合农艺性状优良的晚粳稻品种嘉58和嘉隆17B,均为浙江省嘉兴市农业科学研究院选育。试验在浙江省嘉兴市农业科学研究院(所)试验农场进行,各株系单本植,插植规格为21.0 cm×16.7 cm,水肥管理及病虫害防治同一般大田。

1.2 抗褐飞虱基因*Bph14*、*Bph15*、*Bph14/15*导入系的培育

2010年3月在海南省陵水县以感虫的常规粳稻品种嘉58和嘉隆17B为轮回亲本,携带*Bph14*、*Bph15*基因的抗褐飞虱材料B5为供体亲本,通过杂交和回交构建重组自交系群体。采用系谱法选育,在自交系群体中选择株型偏向轮回亲本,综合农艺性状优良的单株,利用分子标记检测抗褐飞虱基因,种子成熟时采用人工接虫鉴定,冬季海南加代。2013年11月于嘉兴市农业科学研究院试验农场获得*Bph14*-嘉58、*Bph14*-嘉隆17B、*Bph15*-嘉58、*Bph15*-嘉隆17B、*Bph14/Bph15*-嘉58、*Bph14/Bph15*-嘉隆17B导入系。

1.3 抗褐飞虱基因*Bph14*、*Bph15*分子检测

采用SDS法从水稻叶片提取基因组DNA^[8]。选择在亲本间具有多态性并与*Bph14*和*Bph15*紧密连锁的SSR标记MRG2329和MS5进行抗褐飞虱基因的检测,*Bph14*连锁标记MRG2329的PCR引物为5'-TTGTGGGTCCTCATCTCCTC-3'和5'-TGACAACCTTTGTGCAAGATCAAA-3',*Bph15*连锁标记MS5的PCR引物为5'-GCACATACAGAAATGGTGAA-3'和5'-GGCAAGGGACATGTAGTAAC-3'。PCR扩增体系(20 μl):8 mmol/L Tris-HCl (pH 8.3),50 mmol/L KCl,1.5 mmol/L MgCl₂,dNTP各0.2 mmol/L,5 ng左右的DNA模板,引物各0.5 μmol/L,TaqE 1 U。PCR反应程序为:95℃预变性4 min后,进行35个循环扩增,循环条件为94℃变性30 s、55℃复性30 s、72℃延伸1 min,最后在72℃中延伸4 min,于4℃下保存。PCR产物用4%的琼脂糖凝胶电泳检测。

1.4 抗褐飞虱基因*Bph14*、*Bph15*导入系的抗性表型鉴定

苗期抗性鉴定:将导入系材料、亲本和对照品种嘉隆17B浸种、催芽后,选择15粒芽势较为一致的种子播种于水泥槽(600 cm×100 cm×50 cm)内,行长15 cm,行距5 cm,待幼苗长至二叶一心时按每亩3~5头接2~3龄褐飞虱若虫,重复2~3次。抽穗期抗性鉴定:孕穗初期,在田间每行第1丛水稻前放置1丛带卵株进行田间接种,任稻飞虱自由分布。害虫经1个世代繁殖后,数量渐多,虫压增大,此后逐步观察水稻被害程度。在稻褐飞虱主害代,当2个感虫对照品种全部枯死时,调查导入系试材料被害情况并定级。在鉴定稻田区的四周种植5行感虫

品种嘉 58 和嘉隆 17B 为保护行,导入系种植 5 行,每行 8 丛,行株距 16.7 cm×21.0 cm,随机排列,重复 3 次。褐飞虱为生物型 1、生物型 2 和生物型 3 的混合群体,由浙江省嘉兴市农业科学院植物保护研究所提供。参照刘光杰等的评价标准^[9]进行抗性鉴定,当感虫对照品种死苗率达到 95% 左右时,根据死苗率评定抗性级别。评价标准为:死苗率≤1.0%,级别为 0,免疫;死苗率为 1.1%~10.0%时,级别为 1,高抗;死苗率为 10.1%~30.0%时,级别为 3,抗;死苗率为 30.1%~50.0%时,级别为 5,中抗;死苗率为 50.1%~70.0%时,级别为 7,中感;死苗率≥70.1%,级别为 9,感。

2 结果与分析

2.1 利用分子标记辅助选育抗性基因导入系

2010 年 3 月在海南省陵水县以 B5 为供体亲本,嘉 58 和嘉隆 17B 为受体亲本配制杂交组合,同年 6 月在浙江省嘉兴市种植 F_1 ,9 月以嘉 58 和嘉隆 17B 为轮回亲本进行回交,分别获得 BC_1F_1 种子 31 粒和 45 粒。2011 年 1 月在海南陵水播种 BC_1F_1 种子,分别获得 29 株和 44 株幼苗,3 月在回交群体中选取形态偏向嘉 58 和嘉隆 17B 的单株,并检测 *Bph14*、*Bph15* 基因。PCR 检测结果显示,在受体亲本(嘉 58、嘉隆 17B)和供体亲本(B5)中分别扩增出 180 bp 和 200 bp 左右的 DNA 片

段, F_1 的带型为双亲杂合型。在检测的 17 株 BC_1F_1 群体(嘉 58/B5//嘉 58)中,*Bph14* 基因杂合株 5 株,*Bph15* 基因杂合株 6 株,*Bph14/Bph15* 双杂合株 2 株,无纯合基因单株;在 28 株 BC_1F_1 群体(嘉隆 17B/B5//嘉隆 17B)中,*Bph14*、*Bph15* 基因杂合株分别为 9 株和 11 株,*Bph14/Bph15* 双杂合株 4 株,无纯合基因单株。选择 *Bph14*、*Bph15* 和 *Bph14/Bph15* 杂合单株继续与嘉 58 和嘉隆 17B 回交,形成嘉 58/B5//嘉 58//嘉 58 和嘉隆 17B/B5//嘉隆 17B//嘉隆 17B 2 个群体,同年 6 月在浙江嘉兴种植 BC_2F_1 。此后通过嘉兴正季和海南南繁,一年两季,获得一批形态偏向嘉 58 和嘉隆 17B 的自交 BC_1F_5 或 BC_2F_5 代稳定株系。对分离世代单株利用分子标记检测 *Bph14*、*Bph15* 基因,淘汰不含目标基因的单株(图 1)。对于目标基因杂合的单株,在下一代株系中继续进行苗期分子标记检测,结合株型等形态进行农艺性状选择,对于目标基因纯合的单株,在下一代株系中先进行农艺性状选择,然后再检测目标基因是否纯合。通过苗期分子标记选择,成株期农艺性状选择,2013 年 3 月在海南陵水定型了一批 *Bph14* 或 *Bph15* 单基因纯合和 *Bph14/Bph15* 双基因纯合且形态偏向嘉 58 和嘉隆 17B 的稳定株系。2014 年 6 月在浙江嘉兴种植成 112 个株系,其中 *Bph14* 基因纯合株系 15 份,*Bph15* 基因纯合株系 11 份,*Bph14/Bph15* 双基因纯合株系 4 份。

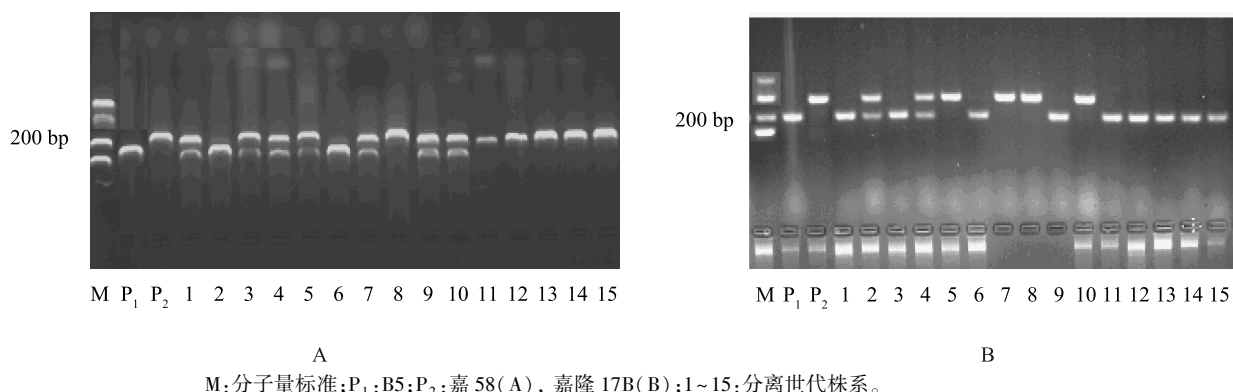


图 1 抗褐飞虱基因 *Bph14* (A) 和 *Bph15* (B) 的 PCR 检测图谱

Fig.1 PCR analysis of *Bph14* (A) and *Bph15* (B) genes controlling the resistance to BPH

2.2 抗褐飞虱基因导入系抗性表现

2014 年在嘉兴正季再次通过分子检测验证 *Bph14* 和 *Bph15* 基因纯合的株系,在嘉兴种植成 112 份株系,应用苗期群体鉴定技术对其进行了抗褐飞

虱鉴定,结果见表 1 和图 2。从表 1 中可看到,抗虫亲本 B5 的抗性级别为 1 级(高抗),2 个受体亲本均为 9 级(感);15 份 *Bph14* 基因纯合的株系中,1 份为高抗,8 份为抗,4 份表现中抗,2 份表现中感;11

份 *Bph15* 基因纯合的株系中,3 份表现抗,5 份表现中抗,3 份表现中感。3 份 *Bph14* 和 *Bph15* 双基因纯合的株系都表现为高抗。同时发现 *Bph14*-嘉 58 平均抗性级别为 4.63 级,低于 *Bph14*-嘉隆 17B 的 2.50 级,但 *Bph15*-嘉 58 平均抗性级别为 3.50 级,高于 *Bph15*-嘉隆 17B 的 6.00 级;*Bph14/Bph15* 双基因纯

合系在嘉 58 和嘉隆 17B 间均表现高抗,聚合有 *Bph14* 和 *Bph15* 基因的纯合株系抗性水平明显高于单基因纯合株系。抽穗期抗性鉴定结果表明,33 份材料中 24 份材料的苗期、抽穗期抗性级别表现一致,吻合度达 72.72%,9 份材料抽穗期抗性级别较苗期低 1 个级别。

表 1 抗褐飞虱基因导入系苗期和抽穗期的抗性表现

Table 1 The resistance performance of introgression lines to brown planthopper at seedling stage and heading stage

编号	导入系	杂交组合	抗褐飞虱基因	苗期		抽穗期	
				抗性级别	抗性水平	抗性级别	抗性水平
1	<i>Bph14</i> -嘉隆 17B	嘉隆 17B / B5 // 嘉隆 17B	<i>Bph14</i>	3	R	3	R
2	<i>Bph15</i> -嘉隆 17B	嘉隆 17B / B5 // 嘉隆 17B	<i>Bph15</i>	3	R	5	MR
3	<i>Bph14</i> -嘉隆 17B	嘉隆 17B / B5 // 嘉隆 17B	<i>Bph14</i>	5	MR	5	MR
4	<i>Bph15</i> -嘉隆 17B	嘉隆 17B / B5 // 嘉隆 17B	<i>Bph15</i>	3	R	3	R
5	<i>Bph15</i> -嘉隆 17B	嘉隆 17B / B5 // 嘉隆 17B	<i>Bph15</i>	5	MR	5	MR
6	<i>Bph14</i> -嘉隆 17B	嘉隆 17B / B5 // 嘉隆 17B	<i>Bph14</i>	3	R	5	MR
7	<i>Bph14</i> -嘉隆 17B	嘉隆 17B / B5 // 嘉隆 17B	<i>Bph14</i>	3	R	5	MR
8	<i>Bph14</i> -嘉隆 17B	嘉隆 17B / B5 // 嘉隆 17B // 嘉隆 17B	<i>Bph14</i>	3	R	3	R
9	<i>Bph14/Bph15</i> -嘉隆 17B	嘉隆 17B / B5 // 嘉隆 17B // 嘉隆 17B	<i>Bph14/Bph15</i>	1	HR	1	HR
10	<i>Bph14</i> -嘉隆 17B	嘉隆 17B / B5 // 嘉隆 17B // 嘉隆 17B	<i>Bph14</i>	5	MR	7	MS
11	<i>Bph14/Bph15</i> -嘉隆 17B	嘉隆 17B / B5 // 嘉隆 17B // 嘉隆 17B	<i>Bph14/Bph15</i>	1	HR	1	HR
12	<i>Bph14</i> -嘉隆 17B	嘉隆 17B / B5 // 嘉隆 17B // 嘉隆 17B	<i>Bph14</i>	7	MS	7	MS
13	<i>Bph14</i> -嘉隆 17B	嘉隆 17B / B5 // 嘉隆 17B // 嘉隆 17B	<i>Bph14</i>	7	MS	7	MS
14	<i>Bph14</i> -嘉隆 17B	嘉隆 17B / B5 // 嘉隆 17B // 嘉隆 17B	<i>Bph14</i>	5	MR	5	MR
15	<i>Bph14</i> -嘉隆 17B	嘉隆 17B / B5 // 嘉隆 17B // 嘉隆 17B	<i>Bph14</i>	5	MS	7	MS
16	<i>Bph15</i> -嘉隆 17B	嘉隆 17B / B5 // 嘉隆 17B // 嘉隆 17B	<i>Bph15</i>	3	R	3	R
17	<i>Bph14</i> -嘉隆 17B	嘉隆 17B / B5 // 嘉隆 17B // 嘉隆 17B	<i>Bph14</i>	5	MR	5	MR
18	<i>Bph14/Bph15</i> -嘉 58	嘉 58/B5 // 嘉 58	<i>Bph14/Bph15</i>	1	HR	1	HR
19	<i>Bph14</i> -嘉 58	嘉 58/B5 // 嘉 58	<i>Bph14</i>	3	R	3	R
20	<i>Bph15</i> -嘉 58	嘉 58/B5 // 嘉 58	<i>Bph15</i>	5	MR	7	MS
21	<i>Bph14</i> -嘉 58	嘉 58/B5 // 嘉 58	<i>Bph14</i>	1	HR	1	HR
22	<i>Bph15</i> -嘉 58	嘉 58/B5 // 嘉 58 // 嘉 58	<i>Bph15</i>	5	MR	7	MS
23	<i>Bph14/Bph15</i> -嘉 58	嘉 58/B5 // 嘉 58 // 嘉 58	<i>Bph14/Bph15</i>	1	HR	1	HR
24	<i>Bph14</i> -嘉 58	嘉 58/B5 // 嘉 58 // 嘉 58	<i>Bph14</i>	3	R	3	R
25	<i>Bph14</i> -嘉 58	嘉 58/B5 // 嘉 58 // 嘉 58	<i>Bph14</i>	3	R	5	MR
26	<i>Bph15</i> -嘉 58	嘉 58/B5 // 嘉 58 // 嘉 58	<i>Bph15</i>	5	MR	7	MS
27	<i>Bph15</i> -嘉 58	嘉 58/B5 // 嘉 58 // 嘉 58	<i>Bph15</i>	7	MS	9	S
28	<i>Bph15</i> -嘉 58	嘉 58/B5 // 嘉 58 // 嘉 58	<i>Bph15</i>	5	MR	7	MS
29	<i>Bph15</i> -嘉 58	嘉 58/B5 // 嘉 58 // 嘉 58	<i>Bph15</i>	7	MS	7	MS
30	<i>Bph15</i> -嘉 58	嘉 58/B5 // 嘉 58 // 嘉 58	<i>Bph15</i>	7	MS	7	MS
31	B5		<i>Bph14/Bph15</i>	1	HR	1	HR
32	嘉隆 17B			9	S	9	S
33	嘉 58			9	S	9	S

HR:高抗;R:抗;MR:中抗;MS:中感;S:感。

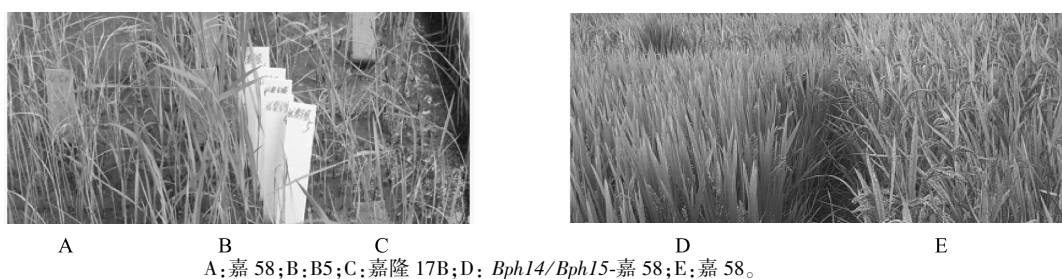


图2 褐飞虱抗、感亲本及导入系的接虫试验

Fig.2 The test of BHP resistance in parental lines and introgression lines

3 讨论

在水稻育种实践中,分子标记辅助选择技术已经被广泛应用,在水稻抗白叶枯病研究方面,已成功地选育出一批抗病优良品种^[10-11]。在水稻抗褐飞虱研究方面,发现了不少新抗源,在遗传分析和基因定位等方面也作了大量研究^[12-13]。李进波等^[14]利用分子标记技术将抗褐飞虱种质资源 B5 携带的抗性基因导入杂交籼稻亲本中,培育了一批褐飞虱抗性水平较高的育种材料。但是,B5 中抗性基因的应用局限于籼稻背景,在梗稻背景中的应用尚未见报道。本研究利用分子标记技术将 B5 中抗褐飞虱基因导入浙北当家栽培梗稻品种中,结果表明,B5 携带的抗性基因在梗稻背景中能够有效表达,基因型与表现型吻合度达 72.72%,但抗性基因的表达在不同背景下存在差异,研究结论证实了利用 B5 改良梗稻品种的可能性。

在水稻褐飞虱抗性苗期群体鉴定中,往往由于秧苗素质的差异尤其是苗龄的差异而使抗性表现有变化。前人研究认为,水稻生长到 4 叶 1 心期抗性趋于稳定,与田间抗性基本一致^[15]。有研究结果显示,水稻品种,尤其是中抗品种,由于微效基因的组和积累,其抗性水平随秧龄增加而提高,植株生长到一定秧龄时才表现出来^[16]。通过培育苗期抗虫的品系,并在此基础上选育成株期抗虫品系是培育抗虫品种最重要途径^[17]。本研究结果表明,获得的 *Bph14*、*Bph15* 导入系苗期抗性与抽穗成株期抗性一致或接近,苗期的抗性对于成株期的抗性具有重要参考价值,这对抗褐飞虱育种实践具有积极的指导意义。

参考文献:

[1] 姚 亮,覃春华,卢 鹏,等.不同水稻品种对褐飞虱的抗性鉴

定[J].植物保护,2009,35(6):139-141.

[2] 王传之,于 洁,裴庆利,等.水稻品种抗稻褐飞虱育种的研究进展[J].安徽农业科学,2008,36(8):3170-3173.

[3] 陶林勇,俞晓平,吕仲贤,等.水稻新品种(系)对褐飞虱抗性的鉴定[J].浙江农业学报,1999,11(6):315-320.

[4] 陈英之,李树娟,李容柏,等.水稻对褐飞虱抗性鉴定的比较研究[J].安徽农业科学,2010,38(13):6686-6688.

[5] 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.

[6] 汤美玲,程旺大. 湖北地区单季晚粳稻直播栽培的高产途径研究[J].中国农学通报,2006,22(6):189-190.

[7] 阎 勇,栗学俊,梁曼玲.抗褐飞虱基因 *Bph14* 和 *Bph15* 杂交稻的分子标记辅助选育与抗性评价[J].分子植物育种,2015,13(7):1450-1456.

[8] 楼巧君,陈 亮,罗利军.三种水稻基因组 DNA 快速提取方法的比较[J].分子植物育种,2005,3(5):749-752.

[9] 刘光杰,付志红,沈君辉.水稻品种对稻飞虱抗性鉴定方法的比较研究[J].中国水稻科学,2002,16(1):52-56.

[10] 倪大虎,易成新,李 莉,等.分子标记辅助培育水稻抗白叶枯病和稻瘟病三基因聚合系[J].作物学报,2008,34(1):100-105.

[11] 余 玲,李爱宏,潘存红,等.分子标记辅助选择培育抗病优质晚粳品种扬梗 806[J].江苏农业科学,2014,42(8):75-77.

[12] 陈建明,俞晓平,程家安,等.水稻新品种(系)对褐飞虱抗性的筛选及评价[J].中国水稻科学,2005,19(6):573-576.

[13] 徐安隆,陈 曙,贺文爱,等.水稻抗褐飞虱与白背飞虱研究进展[J].南方农业学报,2015,46(9):1628-1635.

[14] 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,2006,39(10):2132-2137.

[15] 祝莉莉,胡 亮,杜 波.水稻抗褐飞虱基因研究进展[J].湖北农业科学,2011,50(13):2593-2597.

[16] SIDHU G S, KHUSH G S. The Linkage relationship of some genes for disease and insect resistance and semi-dwarf stature in rice[J]. Euphytica, 1979, 28(2): 233-237.

[17] JAIRIN J, PHENGRAT K, TEANGDEERITH S, et al. Mapping of abroad-spectrum brown planthopper resistance gene, *Bph3*, on rice chromosome[J]. Molecular Breeding, 2007, 19(4):35-44.

(责任编辑:张震林)