

基因聚合改良杂交稻组合的稻飞虱田间抗性表现^{*}

胡 杰¹ 杨长举² 张庆路¹ 高冠军¹ 何予卿^{1**}

(1. 华中农业大学作物遗传改良国家重点实验室 武汉 430070; 2. 华中农业大学植物科技学院植保系 武汉 430070)

摘 要 褐飞虱 *Nilaparvata lugens* (Stål) 是杂交水稻的重要虫害, 培育高抗褐飞虱的杂交水稻新组合被认为是目前防治飞虱最有效、经济的方法。本研究以分子标记辅助选择培育的抗褐飞虱杂交水稻为材料, 通过苗期和成株期的全生育期田间抗性鉴定, 对基因聚合改良杂交稻组合的褐飞虱抗性进行综合评价, 结果表明, 基因聚合改良杂交稻组合的苗期抗性介于抗和中抗水平, 田间虫量在 7 次调查中均低于 800 头/百丛, 远低于 2 000 头/百丛的防治标准, 而对照扬两优 6 号、两优培九和当地农家品种两优 63 在 8 月 29 日到 9 月 10 日飞虱发生高峰期的百丛虫量分别最高达到 5 400 头、2 030 头和 10 700 头, 高于或远高于 2 000 头/百丛的防治标准。改良组合川香 29A/华恢 1462 的产量在通城比对照扬两优 6 号增产 11.8%。上述结果表明抗褐飞虱改良杂交稻新组合能够有效抑制稻田褐飞虱种群数量, 节约人工和农药成本, 增加水稻产量。

关键词 稻飞虱, 田间抗性, 种群数量, 分子标记辅助选择, 基因聚合

Resistance of pyramided rice hybrids to brown planthoppers

HU Jie¹ YANG Chang-Ju² ZHANG Qing-Lu¹ GAO Guan-Jun¹ HE Yu-Qing^{1**}

(1. National Key Laboratory of Crop Genetic Improvement, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;

2. College of Plant Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract Planthoppers, especially the brown planthopper (BPH), are major pests of hybrid rice crops. Developing hybrid rice strains with high BPH resistance has been the most efficient and economic method of controlling BPH outbreaks. In this study, *Bph14* and *Bph15* genes were pyramided in hybrid rice using molecular marker-assisted selection (MAS), after which the BPH resistance of both seedling and adult rice plants was assessed in both the greenhouse and field situation. The results show that improved hybrid seedlings had at least moderate resistance to BPH in the seedling stage with < 800 BPH per 100 plants, much less than the 2 000 BPH per 100 plants observed in susceptible hybrid seedlings with BPH control. In the absence of BPH control, some susceptible strains, including Yangliangyou 6, Liangyoupeiiju and the local combination Liangyou 63, had infestations of 5 400, 2 030 and 10 700 BPH per 100 plants, respectively. The yield of the pyramided hybrid Chuanxiang 29A/Huahui 1462 was 11.8% more than that of Yangliangyou 6 in Tongcheng County. These results suggest that planting resistant pyramided hybrids around conventional susceptible hybrids could effectively decrease the population of BPH, thereby preventing BPH outbreaks, reduce the cost of labor and pesticides and increase rice production.

Key words brown planthoppers, field resistance, *Nilaparvata lugens* population, MAS, gene pyramiding

褐飞虱 *Nilaparvata lugens* (Stål) (BPH) 是一种流行于东南亚、南亚等地区的最主要水稻害虫。它具有迁飞性、突发性和猖獗性, 严重暴发时造成水稻大面积减产甚至绝收。目前防治褐飞虱主要依靠大量化学杀虫剂, 但这种费时费工费钱的方法

不仅造成环境污染, 而且还杀死褐飞虱的天敌和诱发抗药性的新褐飞虱群体的产生而使其再次大暴发 (Heinrichs *et al.*, 1982)。利用寄主抗性培育高抗褐飞虱的水稻品种被认为是控制褐飞虱种群数量最为经济有效的方法 (Pathak *et al.*,

^{*} 资助项目: 863 项目 (2010AA101801)、植物转基因专项 (2008ZX08001-002)、行业计划 (200803003)、现代农业技术体系项目 (nycyt-x-01)。

^{**} 通讯作者, E-mail: yqhe@mail.hzau.edu.cn

收稿日期: 2011-08-05, 接受日期: 2011-08-31

1969)。特别是近年来,越来越多的水稻育种家利用分子标记辅助选择高抗褐飞虱的水稻品种(MAS)和常规回交育种,将来源于水稻的抗褐飞虱基因(*Bph1*, *Bph2*, *Bph3*, *Bph14*, *Bph15*等)通过基因聚合导入到优良品种中,培育出高抗、持久的水稻品种,从而有效地控制了褐飞虱群体数量(Cohen *et al.*, 1997; Shama *et al.*, 2004; 李进波等 2006; Jairin *et al.*, 2009)。

目前国际上通行的褐飞虱抗性鉴定方法是苗期鉴定法(SSST法),但是这种方法并不能全面反映水稻品种的褐飞虱抗性水平。水稻-褐飞虱之间的互作,受到3个方面的机制调控,即拒虫性(antixenosis)、抗生性(antibiosis)和耐受性(tolerance)(Painter, 1951; Panda *et al.*, 1983),而苗期抗性只能反映其耐受性和部分抗生性,并不能反映其拒虫性。此外,也有报道表明苗期抗性与成株期抗性并不十分一致,而成株期抗性更能全面反映水稻的拒虫性、抗生性和耐受性,特别是在大田自然诱发的复杂环境下,调查褐飞虱在不同品种上的群体数量能够准确评价其抗虫水平,并对水稻生产具有积极的现实指导意义(刘光杰等, 2002; 陈峰等 2009; 盛仙俏等 2010)。

*Bph14*和*Bph15*是来源于药用野生稻的2个主效抗褐飞虱基因,分别定位在水稻的第3和4染色体上,分别解释24%和16%的表型变异(Huang *et al.*, 2001)。Du等(2009)克隆了*Bph14*,发现该基因能够同时降低褐飞虱的取食频率和生长速率,从而变现对其持久稳定抗性。Li

等(2011)进一步分析表明,*Bph15*在降低飞虱取食频率、生长速率以及抗生性上均强于*Bph14*的效应,而聚合*Bph14*和*Bph15*则表现更强的抗性。Hu等(2010)聚合和评价了这2个基因在杂交水稻中的效应,同样支持上述观点。然而,对于这2个基因聚合的杂交稻组合的成株期田间抗性评价一直无人研究,而这直接关系到这2个基因的生产应用前景,因此有必要对其进行深入研究。本研究在大田自然发虫的环境下对*Bph14*和*Bph15*基因聚合改良杂交稻共3个组合和对照进行成株期动态虫量考察,着重分析这2个基因聚合杂交稻组合在控制田间飞虱种群数量上与对照品种的差异,从而全面评价基因聚合杂交稻的田间抗性,为培育高抗褐飞虱杂交水稻组合提供理论支持和实践指导。

1 材料与方法

1.1 材料

基因聚合改良杂交稻组合6个,分别为沪旱1A/华恢644、沪旱1A/华恢644、川香29A/华恢644、川香29A/华恢1462、中9A/华恢644和中9A/华恢1462,其中华恢644和华恢1462均为明恢63背景且聚合了*Bph14*和*Bph15*基因(表1),后面4个改良杂交稻组合的培育过程见胡杰等(2010),用于田间成株期抗性鉴定。对照材料为扬两优6号、两优培九以及当地农家组合两优63和感虫诱发材料TN1。

表1 几个基因聚合改良杂交稻组合对褐飞虱抗性表现

Table 1 Damage score of pyramided hybrids and controls to BPH resistance

品种组合 Combinations	聚合基因 Pyramiding genes	抗性分数 ^a Resistance score	抗性级别 ^b Resistance level
沪旱1A/华恢644	<i>Bph14/Bph15/Xa21/Bt</i>	1.8 ± 0.2	HR
沪旱1A/华恢1462	<i>Bph14/Bph15/Xa21</i>	2.7 ± 0.3	HR
川香29A/华恢644	<i>Bph14/Bph15/Xa21/Bt</i>	3.2 ± 0.5	R
川香29A/华恢1462	<i>Bph14/Bph15/Xa21</i>	4.2 ± 0.2	MR
中9A/华恢644	<i>Bph14/Bph15/Xa21/Bt</i>	4.4 ± 0.3	MR
中9A/华恢1462	<i>Bph14/Bph15/Xa21</i>	4.7 ± 0.2	MR
两优培九(对照)	—	8.7 ± 0.1	S
TN1(感虫对照)	—	9.0 ± 0	S

注: a 表示各品种组合的平均抗性分数 ± 标准误; b 表示抗性级别: HR 为高抗, R 为抗, MR 为中抗, S 为感。

a is mean ± SE of the resistance score of combinations; b is the resistance level(HR: high resistant, R: resistant, MR: moderate resistant, S: susceptible)。

1.2 方法

1.2.1 苗期抗性鉴定 苗期抗性鉴定采用苗期集团鉴定法稍加改进(Pathak *et al.* , 1969)。将催芽后要测的材料种子一致均匀播种在塑料盒里(60 cm × 40 cm × 10 cm) 抗虫对照 B5 和感虫对照 TN1 随机各种一行, 其它个材料各种一行。播种 12 d 后, 每行定苗于 10 个健壮一致的幼苗, 并按每苗接 2 到 3 龄褐飞虱若虫 10 头, 盒子外面用细密网子罩住, 保持温室温度 27℃ 左右。接虫后一个星期左右当对照 TN1 全部死亡时, 按照 1(高抗) 到 9(感) 5 个级别调查每一苗的抗性分数, 至少 5 次重复。

1.2.2 大田成株期抗性鉴定 试验地点主要在湖北省咸宁市通城县关刀镇白马村, 另外在湖北孝感境内也进行了类似试验。在湖北省通城县将基因聚合改良杂交稻组合 4 个和对照一起按随机区组设计种植, 每个组合 0.33 hm² 共 2.3 hm² (35 亩), 每个组合周围都种植一定比例的 TN1 作为稻飞虱田间自然诱发材料。正常稻田管理, 全生育期利用对稻飞虱低毒且能够毒杀二化螟、稻纵卷叶螟农药 3 次(第 1 次 7 月 3 日用稻腾、杀虫单、恒清防治; 第 2 次 7 月 29 日用稻腾、恒清防治; 第 3 次 8 月 29 日用稻腾、恒清防治), 试验小区周围农民自防田均 3 次以上施用农药毒杀螟虫和稻飞虱(第 1 次 7 月 6 日用乙酰甲胺磷、杀虫双; 第 2 次 8 月 4 日用阿维菌素、丙溴灵、锐劲特、杀虫双; 第 3 次 8 月 28 日用敌敌畏、混灭威、吡虫啉)。5 月 15 号播种 6 月 10 号移栽 7 月 3 号开始调查虫量。每个品种调查一块田, 每块田调查 5 个点, 每点 20 丛, 采取拍盆法每 10 d 调查 1 次。计算方法为: 平均每丛虫量 = 调查丛数虫量总数 / 调查丛数, 百丛虫量 = 平均每丛虫量 × 100。

1.2.3 田间产量测定 各水稻组合成熟后分别收割, 晒干、脱粒、去壳后实打实测, 然后折算成每亩(667m²) 产量。

1.3 数据统计分析

用 SAS 分析软件(惠大丰和姜长鉴, 1996) 对所有数据作描述性统计分析, 对苗期抗性鉴定中的抗性分数、产量数据分别作方差分析(Analysis of variance, ANOVA) 和 *t*-测验(*t*-test)。

2 结果与分析

2.1 基因聚合改良杂交稻组合的苗期抗性

在 2010 年夏华中农业大学水稻温室对几个

基因聚合改良杂交稻组合进行褐飞虱苗期抗性鉴定, 结果(表 1) 表明: *Bph14* 和 *Bph15* 基因聚合材料在不同的杂交稻背景下的抗性水平有所不同, 其中沪旱 1A 不育系所配的 2 个组合的抗性水平最高, 均为高抗; 川香 29A 和中 9A 所配的 4 个组合的抗性介于抗与中抗的水平, 而不含基因的对照两优培九则为感的水平。

2.2 不同水稻材料的田间虫量动态

在通城大田对基因聚合改良杂交稻组合和对照的稻飞虱(褐飞虱和白背飞虱) 发生数量进行了调查, 结果(图 1) 表明, 所有基因聚合改良杂交稻组合的虫量在 7 次调查中均低于 800 头/百丛, 远低于稻飞虱防治指标所要求的百丛虫量 2 000 头; 而对照扬两优 6 号、两优培九以及农民自防对照田两优 63 的百丛虫量在 8 月 29 日到 9 月 10 日褐飞虱群体数量较大发生时期分别最高达到 5 400 头、2 030 头和 10 700 头, 高于或远高于褐飞虱防控指标。

从图 1 中还可以看出, 在试验区内种植的 4 个基因聚合杂交稻组合和对照扬两优 6 号、两优培九在 7 月 3 日到 8 月 29 日(包括前 6 次调查) 的稻飞虱百丛虫量始终低于 2 000 头/百丛的防治指标, 而在试验区外的农民自防田对照(农家品种两优 63), 虽然在当地农民连续打药 5 次以上防治褐飞虱的情况下, 百丛虫量从 8 月 11 日的 890 头一直快速攀升到惊人的 8 月 29 日的 10 700 头, 远远高于 2 000 头/百丛的防治指标。说明种植基因聚合改良杂交稻组合能够有效控制早期稻飞虱的群体数量的基数, 从而大大减少了后期稻飞虱虫量的增加。此外, 7 个材料的百丛虫量在 7 月 16 日到 7 月 29 日之间有一个小峰值, 随后在 8 月 29 日到 9 月 10 日之间又达到另一个更大的峰值, 在 7 月 29 日之前是白背飞虱的种群数量大于褐飞虱的种群数量, 在 8 月 11 日之后褐飞虱种群数量在通过几代的积累后慢慢成为优势, 随后在 8 月 29 日到 9 月 10 日之间达到最大。

2.3 基因聚合改良杂交稻组合的稻飞虱百丛平均虫量和累计虫量的比较

如图 2 中 a 所示, 几个基因聚合杂交稻组合在 7 次调查中的稻飞虱平均百丛虫量都小于 300 头, 远低于 2 000 头/百丛的防治指标, 其中中 9A/ 华恢 644 最低, 仅为 160 头, 最高的川香 29A/1

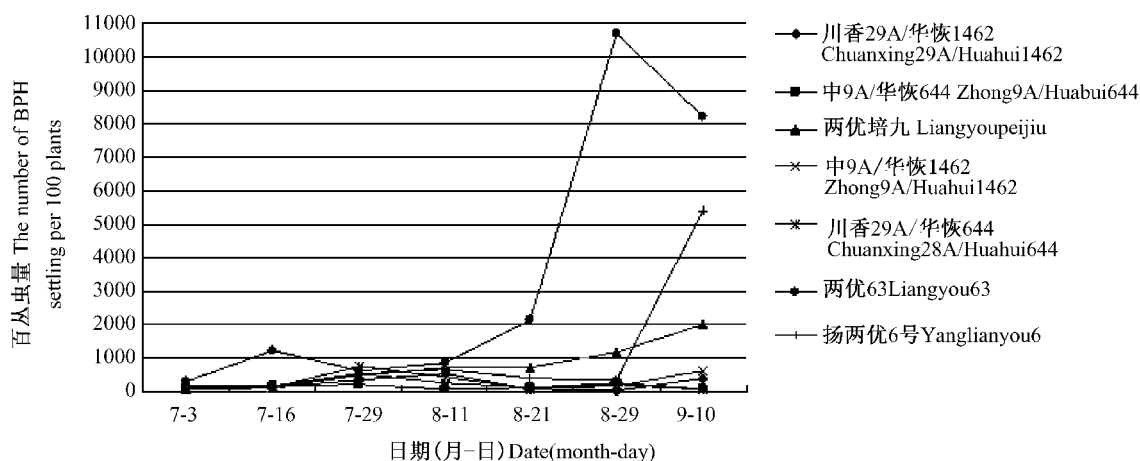


图1 几个基因聚合改良杂交稻组合及对照的稻飞虱田间虫量动态(咸宁通城, 2010)

Fig. 1 Dynamic investigation of the number of brown planthoppers settling per 100 plants of pyramided hybrids and controls in seven periods from 3 July to 10 September in the field (Tongcheng county , Xianning city , 2010)

7 月份主要是白背飞虱 8 月 11 日后主要是褐飞虱

WBPH dominated in July , while BPH dominated after 11 August.

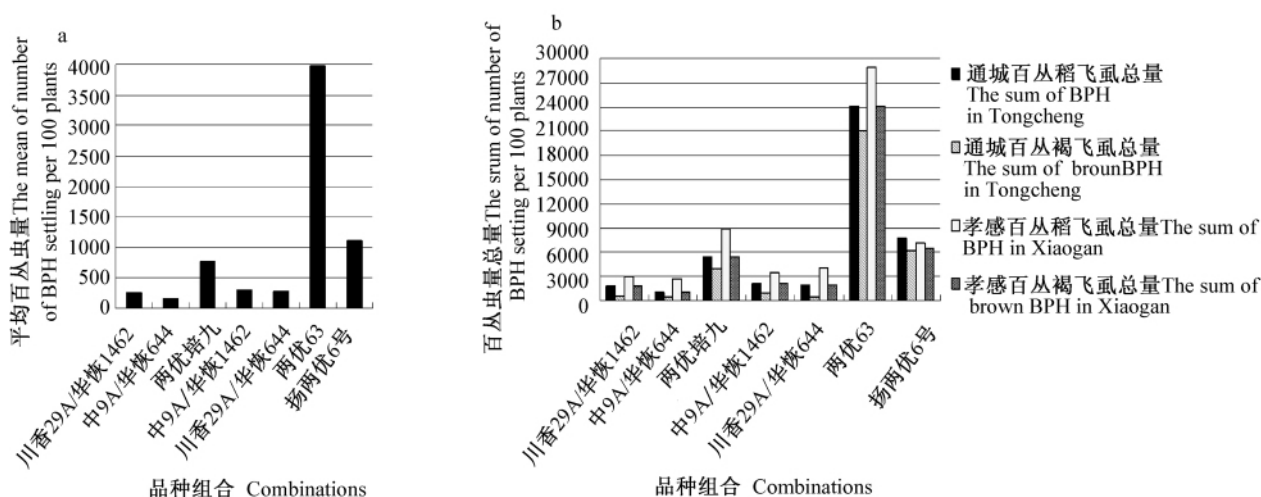


图2 几个基因聚合改良杂交稻组合及对照的褐飞虱平均百丛虫量和总虫量

Fig. 2 The mean and sum of number of BPH settling in the pyramided hybrids and controls

a 表示几个组合在通城 7 次调查的稻飞虱平均百丛虫量; b 表示几个组合在通城和孝感 7 次调查的稻飞虱百丛虫量的累计虫量比较

a and b denote the mean and sum of number of BPH settling per 100 plants of the hybrid combinations in all of the seven periods observed in Tongcheng county and Xiaogan city , Hubei Province , respectively.

462 也只有 301.4 头; 而对照两优培九、扬两优 6 号和两优 63 的稻飞虱平均百丛虫量分别为 778.3 头、1 111.4 头和 3 976.7 头。在试验区外种植的两优 63 远高于 2 000 头的防治指标。在孝感和通城田间基因聚合杂交稻组合中(图 2: b) 7 次调查褐

飞虱百丛虫量的累计量均分别低于 2 000 头和 1 000 头, 其中中 9A/华恢 644 最低, 为 1 000 头和 300 头左右; 中 9A/华恢 1462 最高, 为 2 000 头和 1 000 头左右。而对照两优培九、扬两优 6 号和两优 63 的褐飞虱百丛虫量累计量均分别高于 5 000

头和 4 000 头,其中农民自防田对照(品种两优 63)甚至分别到达 24 000 头和 21 000 头。孝感田间的稻飞虱百丛虫量累计量均要高于通城田间的,其中因聚合杂交稻组合的稻飞虱百丛虫量累计量均分别低于 3 000 头和 1 500 头左右,同样是中 9A/华恢 644 最低,为 3 000 头和 1 500 头左右,中 9A/华恢 1 462 最高,为 4 000 头和 2 000 左右。而对照两优培九、扬两优 6 号和两优 63 的稻飞虱白丛虫量累计量均分别高于 7 000 头和 6 000 头左右,同样是农民自防田对照两优 63 甚至分别到达最高的 28 500 头和 24 000 头(图 2:b)。

2.4 基因聚合改良杂交稻组合的田间产量分析

2010 年 9 月底 10 月初在通城分别对所有材料收割,对产量实行实打实测,结果见表 2,与华恢 1462 配组的 2 个组合,川香 29A/华恢 1462 和中 9A/华恢 1462 的产量显著高于对照扬两优 6 号,分别增产 11.8% 和 9.5%;川香 29A/华恢 644 的产量与对照扬两优 6 号相仿,而 9A/华恢 644 的产量要稍低于对照扬两优 6 号。感虫对照 TN1 的产量最低,仅为 178 kg/667m²。

表 2 几个基因聚合改良杂交稻组合及对照的产量表现
(湖北省咸宁市通城县 2010)

Table 2 Yields performance of pyramided hybrids and controls (Tongcheng county, Xianning city, Hubei Province, 2010)

杂交组合 Combinations	通城产量(kg/667m ²) Yield
川香 29A/华恢 1462	445 a
中 9A/华恢 1462	436 a
川香 29A/华恢 644	403 c
中 9A/华恢 644	382 d
扬两优 6 号(对照)	398 c
两优培九(对照)	406 c
两优 63(对照)	395 cd
TN1(感虫对照)	178 e

注: 同列标注不同字母表示在 0.05 水平上差异显著。

Data followed by different letters in the same column indicate significantly different at 0.05 level.

3 讨论

本试验首先鉴定了几个基因聚合改良杂交稻组合的苗期抗性为抗到中抗的水平,在此基础上,通过较大面积的大田(2.3 hm²)成株期鉴定,表明基因聚合改良杂交稻组合确实能够显著降低该区

域的褐飞虱群体数量,改善了其成株期抗性,从而导致了水稻产量的增加。

水稻对褐飞虱的苗期抗性与大田成株期抗性有时并不一致,且水稻生产过程中苗期飞虱数量极少,通常要到成株期才能表现出大量飞虱的侵害,大田抗性鉴定因其与水稻生产安全紧密相关而越来越受到重视。另一方面,综合评价水稻抗褐飞虱基因在不同遗传背景下的基因效应,从而有效评价基因的生产应用前景,是目前褐飞虱抗性育种的新趋势。在本研究中,将 *Bph14* 和 *Bph15* 聚合于不同杂交稻背景,结合苗期抗性和大田成株期抗性,综合评价了这 2 个基因的生产应用前景。不同遗传背景下的基因聚合杂交稻的苗期抗性和成株期抗性稍有不同(表 1,图 2),但在整个褐飞虱发生时期基因聚合杂交稻上的虫量一直处于较低的水平(图 1)。2010 年通城全县境内褐飞虱虫量平均虫量百丛达 5 000 头以上,对照两优培九甚至出现了“圈顶”,但在作者试验区内飞虱量相对较小,无需用药防治,说明基因聚合杂交稻组合对褐飞虱群体数量的控制起到了关键作用(图 3)。

水稻-褐飞虱的互作可以理解为抗性基因与褐飞虱体内的防卫基因的互作,单一的抗源或是较高的选择压必然加快飞虱群体进化,从而出现新的生物型使原来的单一抗性基因丧失作用,国际水稻所在 20 世纪 70 年代推出的抗褐飞虱品种 IR26、IR36 随后被飞虱适应就是例证。利用基因聚合培育一系列多种背景的杂交稻新组合可以有效地控制褐飞虱种群变异速率,从而有效控制飞虱群体数量,达到真正的高抗,广谱和安全目标。此外,通过多种抗源的同一种遗传背景的杂交稻组合也可能是解决当前杂交稻抗稻飞虱的首选策略。Zhu 等(2000)报道了抗稻瘟病的杂交稻与感病的糯稻相间种植,通过生物遗传资源多样性在周围形成抗病屏蔽区,从而有效地控制了稻瘟病在糯稻上的发病。本试验在通城大田内 3 块对照田,其中 2 块在抗虫稻区内,另一块不在试验区内,对照区内的材料的平均百丛虫量分别只有 1 000 头和 800 头,都未达到防止指标,而不在试验区内的材料的虫量却达到惊人的 4 000 头,大大超过 2 000 头的防止指标,并且连续用药 5 次防治褐飞虱,虫量还是控制不了。这可能是由于不同遗传背景的基因聚合改良杂交稻组合对褐飞虱的虫

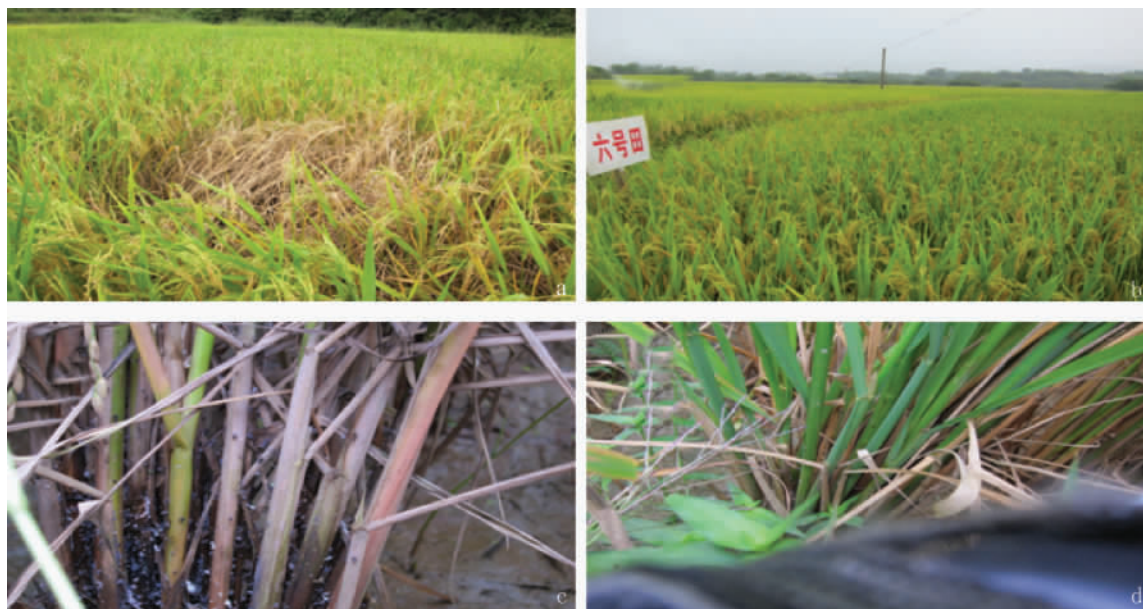


图 3 改良杂交组合川香 29A/华恢 1462 及对照两优培九的田间抗性表现对比

Fig. 3 The comparison of the resistance to BPH of the pyramided hybrid

Chuanxiang 29A/ Huahui1462 and the control Liangyoupei9

in the field in Tongcheng county, Xianning city

注: a 表示两优培九的田间抗性表现 b 表示川香 29A/华恢 1462 的田间抗性表现 c 表示两优培九的稻蔸基部被飞虱侵害情况 d 表示川香 29A/华恢 1462 的稻蔸基部被飞虱侵害情况。

A and b show the BPH resistance of Liangyoupei9 and Chuanxiang29A/Huahui1462 in the field, respectively; c and d show the stem of Liangyoupei9 and Chuanxiang29A/Huahui1462 after BPH infestation in the field, respectively.

量控制,在周围形成了一个小的低的飞虱群体数量的生态屏蔽区,靠近这个区的水稻品种,无论其抗虫与否,在早期都能够显著抑制飞虱的迁入量,从而造成很小的褐飞虱群体基数,以致在整个水稻生育期都保持较低的褐飞虱群体数量;而远离这个区的感虫水稻品种因失去这种屏蔽作用而导致早期就有较高的飞虱迁入量和群体基数,后期随着飞虱 3~5 代的虫量积累,最后形成巨大的飞虱群体数量,而喷施 5 次以上的抗褐飞虱药剂仍不能降低其飞虱量,可能是由于药剂杀死了大量飞虱天敌,以及在后期飞虱一般在稻株叶片以下的稻蔸基部为害,杀虫剂无法接触到此部分,再加之飞虱群体数量在后期已然相当高,杀虫剂的效果已不明显。

当代水稻生产面临诸多挑战,其中特别是杂交稻的褐飞虱抗性普遍较差。杂交稻生产所需大量化肥和农药的喷施又加重了褐飞虱暴发的风

险。为此,Zhang 等(2007)提出培育少施化肥,少打农药,节水抗旱,优质高产的“绿色超级稻”。因此本试验利用 MAS 和常规回交育种相结合,将一大批抗褐飞虱基因导入到优良水稻品种中,进一步通过基因聚合培育出一系列多种遗传背景的高抗褐飞虱杂交水稻组合。本试验中,基因聚合改良杂交组合川香 29A/华恢 1462 不但在大田中表现高抗褐飞虱(图 3),而且产量在通城要显著高于对照扬两优 6 号(+11.8%)(表 2),在全生育期末喷施任何防治飞虱药物的前提下仍取得高产,表明种植基因聚合杂交稻组合不仅能节约人工和农药成本,还能增加水稻产量,展示了很好的生产应用前景。

致谢:武汉大学何光存教授提供褐飞虱抗性基因及其标记,华中农业大学植科院植保系华红霞副教授及其研究生协助褐飞虱抗性鉴定,湖北咸宁

通城植保站的同志协助田间管理和虫量调查,在此一并感谢!

参考文献(References)

- 陈峰,傅强,罗举,赖风香,桂连友,2009. 苗期抗性不同的水稻品种成株期对褐飞虱的抗性. 中国水稻科学, 23(2): 201—206.
- Cohen MB, Alam SN, Medina EB, Bernal CC, 1997. Brown planthopper, *Nilaparvata lugens*, resistance in rice IR64: mechanism and role in successful *N. lugens* management in Central Luzon, Philippines. *Entomologia. Experimentalis et Applicata*, 85(3): 221—229.
- Du B, Zhang WL, Liu BF, Hu J, Wei Z, Shi ZY, He RF, Zhu LL, Chen RZ, Han B, He GC, 2009. Identification and characterization of *Bph14*, a gene conferring resistance to brown planthopper in rice. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 106(52): 22163—22168.
- Heinrichs EA, Aquino GB, Chelliah S, Valencia SL, ReissigWH, 1982. Resurgence of *Nilaparvata lugens* populations as influenced by method and timing of insecticide applications in lowland rice. *Environ. Entomol.*, 11(1): 78—84.
- 胡杰,李信,吴昌军,高冠军,肖景华,何予卿,2010. 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. 分子植物育种 8(6): 1180—1187.
- Hu J, Li X, Wu CJ, Yang CJ, Hua HX, Gao GJ, Xiao JH, He YQ, 2010. Pyramiding and evaluation of the brown planthopper resistance genes *Bph14* and *Bph15* in hybrid rice. *Mol. Breeding*. DOI 10.1007/s11032-010-9526-x.
- Huang Z, He GC, Shu LH, Li XH, Zhang QF, 2001. Identification and mapping of two brown planthopper resistance genes in rice. *Theor. Appl. Genet.*, 102(6/7): 929—934.
- 惠大丰,姜长鉴,1996. 统计分析系统 SAS 软件实用教程. 北京:北京航空航天大学出版社. 1—180.
- Jairin J, Teangdeerith S, Leelagud P, Kothcharerk J, Sansen K, Yi M, Vanavichit A, Toojinda T, 2009. Development

- of rice introgression lines with brown planthopper resistance and KDML105 grain quality characteristics through marker-assisted selection. *Field Crops Research.*, 110(3): 263—271.
- Li J, Chen QH, Wang LQ, Liu J, Shang KK, Hua HX, 2011. Biological effects of rice harbouring *Bph14* and *Bph15* on brown planthopper, *Nilaparvata lugens*. *Pest Manag. Sci.*, 67(5): 528—534.
- 李进波,夏明元,戚华雄,何光存,万丙良,查中萍, 2006. 水稻抗褐飞虱基因 *Bph14* 和 *Bph15* 的分子标记辅助选择. 中国农业科学, 39(10): 2132—2137.
- 刘光杰,付志红,沈君辉,张亚辉,2002. 水稻品种对稻飞虱抗性鉴定方法的比较研究. 中国水稻科学, 16(1): 52—56.
- Painter RH, 1951. *Insect Resistance in Crop Plants*. Macmillan Co., New York. 1—520.
- Panda N, Heinrichs EA, 1983. Levels of tolerance and antibiosis in rice varieties having moderate resistance to the brown planthopper, *Nilaparvata lugens*. *Environ. Entomol.*, 12(2): 1204—1214.
- Pathak MD, Cheng CH, Fortuno ME, 1969. Resistance to *Nephotettix impicticeps* and *Nilaparvata lugens* in varieties of rice. *Nature*, 223: 502—504.
- Sharma PN, Torii A, Takumi S, Mori N, Nakamura C, 2004. Marker-assisted pyramiding of brown plan thopper (*Nilaparvata lugens*) resistance genes *Bph1* and *Bph2* on rice chromosome 12. *Hereditas*, 140(1): 61—69.
- 盛仙俏,张发成,徐红星,郑许松,陈桂华,吕仲贤, 2010. 水稻品种(组合)对褐飞虱抗性的田间表现. 中国水稻科学 24(5): 535—538.
- Zhang QF, 2007. Strategies for developing green super rice. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 104(42): 16402—1640.
- Zhu YY, Chen HR, Fan JH, Wang YY, Li Y, Chen JB, Fan JX, Yang SS, Hu LP, Leung H, Mew, TW, Teng PS, Wang ZH, Mundt CC, 2000. Genetic diversity and disease control in rice. *Nature*, 406: 718—722.

抗褐飞虱水稻品种的培育及其抗性表现^{*}

李进波^{1**} 万丙良^{1***} 夏明元¹ 戚华雄¹ 石华胜² 辛复林²

(1. 湖北省农业科学院粮食作物研究所 武汉 430064; 2. 武汉市东西湖区农科所 武汉 430040)

摘 要 褐飞虱 *Nilaparvata lugens* (Stål) 是危害水稻的主要虫害之一,发掘和利用新的抗褐飞虱基因培育抗性品种是目前防治褐飞虱最经济有效的方法之一。抗褐飞虱基因来自药用野生稻的抗虫品种 B5,对褐飞虱生物型 1 和 2 具有高度抗性,B5 携带的抗性基因 *Bph14* 被定位在第 3 染色体上。本研究以 B5-10 为抗源,以优良杂交稻亲本扬稻 6 号为受体亲本,通过复交和回交,利用与 *Bph14* 紧密连锁的分子标记 MRG2329 在后代中进行分子标记辅助选择,通过苗期分子标记检测和成株期农艺性状选择,最后育成恢复系 R476 和杂交组合广两优 476。采用苗期群体鉴定技术对 R476 和广两优 476 的褐飞虱抗性进行了鉴定,R476 和广两优 476 的抗性水平分别为中抗和中感。广两优 476 在稻飞虱发生较重的稻田进行试种示范,与对照品种扬两优 6 号和两优培九相比,广两优 476 对稻飞虱表现出明显的抗性。研究结果表明在育种过程中利用分子标记辅助选择 *Bph14* 基因是培育抗褐飞虱水稻品种的有效途径之一。

关键词 水稻,褐飞虱,标记辅助选择,抗性

Breeding of the brown planthopper resistant rice varieties

LI Jin-Bo^{1**} WAN Bing-Liang^{1***} XIA Ming-Yuan¹ QI Hua-Xiong¹

SHI Hua-Sheng² XIN Fu-Lin²

(1. Food Crops Research Institute, Hubei Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430064, China;

2. Dongxihu District Agricultural Sciences Research Institute, Wuhan 430040, China)

Abstract *Nilaparvata lugens* (Stål) (BPH) is one of the major pests of cultivated rice. One effective method of BPH control is to identify new genes for BPH resistance and breed resistant cultivars incorporating these genes. B5 is a rice line derived from wild rice *Oryza officinalis* that is highly resistant to the BPH biotypes 1 and 2. The dominant BPH resistance gene in B5, *Bph14*, has been identified and mapped on rice chromosome 3. In this study, B5-10 was used as a BPH resistance donor and the elite restorer rice line Yangdao 6 was the recipient of the BPH resistance gene *Bph14*. Molecular marker MRG2329 linked with *Bph14* was used to select this gene in segregating populations. We performed molecular marker-assisted selection (MAS) at the seedling stage and selection for agronomic traits at the adult plant stage to obtain the hybrid rice restorer line R476 and the combination Guangliangyou 476 which carried the *Bph14* gene. The BPH resistance levels of R476 and Guangliangyou 476 were determined in a mass seedling screening test. The results indicate that R476 was moderately resistant and Guangliangyou 476 was moderately susceptible. Guangliangyou 476 was, however, clearly more resistant to the rice planthopper than the control cultivars Yangliangyou 6 and Liangyoupeiiju in a field experiment. These results suggest that MAS of *Bph14* can be effectively utilized in breeding programs for BPH-resistant rice strains.

Key words rice, *Nilaparvata lugens*, molecular marker-assisted selection (MAS), resistance

褐飞虱 *Nilaparvata lugens* (Stål) (BPH) 是我国水稻主要害虫之一,分布范围包括从最北端吉林开始,沿着辽宁、河北、山西、陕西、宁夏、甘肃、四川、云南至西藏一线及以南的广大地区。褐飞

* 资助项目:公益性行业(农业)科研专项(200803003)、湖北省重点科技项目(2006AA201A03)和武汉市科技项目(200920322152)。

**E-mail: jinboli0606@sohu.com

*** 通讯作者,E-mail: ricewanbl@126.com

收稿日期:2011-08-11,接受日期:2011-08-25