

DOI: 10.13376/j.cbls/2018134

文章编号: 1004-0374(2018)10-1113-07



任光俊, 博士, 研究员, 获国务院政府特殊津贴, 四川省学术和技术带头人, 现任四川省农科院副院长。长期从事水稻种质创新与杂交水稻新品种选育研究。获国家和省级科技奖励 8 项, 其中, 国家科技进步奖二等奖 1 项, 省级科技进步奖一等奖 4 项、二等奖 2 项; 获发明专利 4 项、植物新品种权 30 余项; 育成杂交水稻新品种 70 多个。

## 绿色优质高产水稻新品种的选育与应用

高方远<sup>1</sup>, 任野胜<sup>1</sup>, 陆贤军<sup>1</sup>, 苏相文<sup>1</sup>, 康海岐<sup>1</sup>,  
吴贤婷<sup>1</sup>, 曾礼华<sup>2</sup>, 吕建群<sup>1</sup>, 刘利平<sup>1</sup>, 任光俊<sup>1\*</sup>

(1 四川省农业科学院作物研究所, 成都 610066; 2 四川师范大学, 成都 610110)

**摘要:** 该团队针对长江上游稻作生态特点及水稻生产中存在的问题, 开展了绿色优质高产新品种的培育研究。先后发掘出与稻飞虱抗性、产量、品质性状相关的基因/QTL; 研发了稻米品质、稻瘟病抗性、稻飞虱抗性、磷高效利用、抗旱性、抗倒伏等绿色性状的改良技术; 创制出兼具优质、高配合力、抗稻瘟病、抗飞虱等优良性状的新材料; 培育出适合长江上游生态条件的绿色优质高产新品种并在生产上推广应用。

**关键词:** 绿色; 优质; 产量; 稻瘟病; 稻飞虱; 分子标记; 选育; 水稻

中图分类号: S511.21 文献标志码: A

## Breeding and application of green hybrid rice with good quality and high yield

GAO Fang-Yuan<sup>1</sup>, REN Juan-Sheng<sup>1</sup>, LU Xian-Jun<sup>1</sup>, SU Xiang-Wen<sup>1</sup>, KANG Hai-Qi<sup>1</sup>,  
WU Xian-Ting<sup>1</sup>, ZENG Li-Hua<sup>2</sup>, LYU Jian-Qun<sup>1</sup>, LIU Li-Ping<sup>1</sup>, REN Guang-Jun<sup>1\*</sup>

(1 Crop Research Institute, Sichuan Academy of Agricultural Sciences,  
Chengdu 610066, China; 2 Sichuan Normal University, Chengdu 610110, China)

**Abstract:** In view of the ecological characteristics of the upper reaches of the Yangtze River and the problems in rice production, large efforts have been made on the breeding of Green Rice with good grain quality and high yield in this study. As a result, several genes/QTLs related to rice brown planthopper resistance, yield and grain quality were identified. The technologies for improvement of grain quality, resistance to rice blast and brown planthopper, phosphorus-use efficiency, drought and lodging resistance were explored. A large number of new parental lines

收稿日期: 2018-09-19

基金项目: 国家高技术研究发展计划(“863”计划)(2014AA10A600); 农业部水稻产业技术体系专项资金项目(CARS-01-08); 国家重点研发计划“七大农作物育种”重点专项(2017YFD0100200); 四川省农村科技支撑计划项目(2014NZ0008); 四川省水稻育种攻关(2016NYZ0028-3); 四川省创新能力提升工程项目(2016ZYPZ-011)

\*通信作者: E-mail: guangjun61@sina.com; Tel: 028-84504006

pyramiding the advantageous genes of good grain quality, high combining ability, improved resistance to rice blast and brown planthopper were developed. Even better, several new Green Rice with fine quality, high yield and good resistance to rice blast were bred, which are more suitable for the ecological conditions of the upper reaches of the Yangtze River and successfully applied in rice production.

**Key words:** green; good grain quality; yield; rice blast; brown planthopper; molecular marker; breeding; rice

建国以来,水稻育种经历了“矮化育种”、“杂交优势利用”和“超级稻育种”3个发展阶段,其主要目标是大幅度提高水稻产量潜力。经过几代育种家的不懈努力,先后育成了广场矮、桂朝2号、汕优2号、汕优63、岗优22、两优培九等为代表的高产良种,为我国粮食安全做出了巨大的贡献;但是,单纯追求高产导致的化肥过量施用、抗病虫品种缺乏造成的农药大量使用,区域性、季节性干旱频发以及高产、优质、抗病虫特性难以协调发展等问题是水稻育种面临的重大挑战。针对这些问题,张启发院士于2007年提出了“绿色超级稻”育种战略,倡导培育同时兼顾“抗病虫、营养高效利用、节水抗旱和高产优质”等特性的绿色超级稻<sup>[1]</sup>。本研究团队自20世纪90年代中期开始,注重水稻高产、优质和抗病相结合的选育方向,提出米质与泰国米媲美的优质高产杂交水稻育种策略<sup>[2]</sup>,并在国家“863”计划、水稻产业技术体系等项目支持下开展绿色优质高产新品种培育工作。

## 1 长江上游稻作生态特点及水稻品种现状

长江上游稻区包括川、渝、滇、黔及陕南稻作生态区,水稻生产面积约479.33万 $\text{hm}^2$ 。病虫害、生态条件、自然灾害是影响水稻生产的主要因素。稻瘟病、稻曲病、纹枯病、白叶枯病、螟虫、飞虱等病虫害常年发生,但达到抗病级别(0~3级)的品种很少,更缺乏抗螟虫、抗飞虱的新品种。该稻区生态条件复杂,区域性、季节性干旱时有发生,2004—2014年西南四省农作物年受旱面积286.64 $\text{hm}^2$ ,占全国受旱面积的16.59%,其中2010年达到37.95%<sup>[3]</sup>;土壤供肥能力较差,长江流域土壤速效磷平均为14.6 $\text{mg/kg}$ <sup>[4]</sup>,显著低于全国水稻主产区的平均水平(19.8 $\text{mg/kg}$ )<sup>[5]</sup>。川西平原的寡日照、小温差、早秋雨,以及重庆、川中、川东北和四川盆地东南的夏伏旱、高温等自然灾害,严重影响水稻的高产稳产和品质提升。2001—2017年,通过国家审定的水稻品种有992个,其中高产类型品种(区试平均产量较对照增产5%及以上)573个,占审定品种的57.76%;优质品种(稻米品质达到国家标

准《优质稻谷》三级及以上的品种)395个,占39.82%;抗稻瘟病品种(中抗、抗及高抗穗颈瘟的品种)203个,占20.46%;增产幅度达到或超过5%,米质达国标优质米标准且抗稻瘟病品种有45个,占4.54%。四川省在同期审定了284个水稻品种,其中高产类型品种占53.52%,略低于国审高产品种比率;优质品种和抗稻瘟病品种比率分别为21.13%和2.11%,显著低于国审优质和抗病品种比率;缺少产量较对照增加5%及以上,优质且抗稻瘟病的品种(根据国家水稻数据中心<http://www.ricedata.cn/>数据统计)。因此,在产量水平稳步提升的基础上,协调改良水稻品种的优质、抗病虫特性,并进一步实现营养高效、节水抗旱目标已成为长江上游稻区的重大科技需求。

## 2 绿色优质高产杂交稻新品种培育

针对长江上游稻作生态特点及水稻生产中存在的主要问题,本研究组在系谱选育、回交育种及杂种优势利用等传统育种技术的基础上,运用基因组学和生物信息学的最新成果,发掘绿色性状新基因/QTL并充分利用已鉴定出的影响品质、抗病虫性、产量等性状的基因(QTL)创制单一性状表现突出或聚合多种绿色性状的优异水稻新材料,不断完善绿色性状改良技术,培育适合长江上游一季中稻种植的绿色优质高产杂交稻新品种。

### 2.1 绿色性状基因/QTL的发掘与利用

#### 2.1.1 抗飞虱新基因*Bph32*的克隆

采用生物信息学方法和DNA测序技术,从水稻品种Ptb33中克隆出一个新的抗褐飞虱基因LOC\_Os06g03240。该基因位于水稻第6染色体短臂RM19291-RM8072区段,命名为*Bph32*,编码一个未知的短同源重复序列(SCR)蛋白。将该基因导入感虫水稻品种Kasalath可显著提高其褐飞虱抗性。表达分析结果显示,*Bph32*基因在抽穗期各部位均有表达,在叶鞘中表达水平最高;接虫2h和24h后表达水平显著提高。这与褐飞虱栖息和进食规律相吻合<sup>[6]</sup>。该基因(原名*Bph28*)及其应用方法已申请国家发明专利(201410441422.2)。

**2.1.2 水稻抗褐飞虱基因*Bph3*的等位变异及其功能标记开发**

Shui Daw In (SD) 为引自缅甸的水稻品种。经过接虫鉴定表明, 该品种在全生育期对褐飞虱具有稳定的抗性。利用 SD 与感虫对照品种 TN1 构建的 F<sub>2.3</sub> 隐性群体, 将 SD 的抗褐飞虱基因定位在第 4 染色体短臂 SNP 标记 SN8 与 SN11 之间的 2.8 cM 区段<sup>[7]</sup>。进一步将该基因精细定位在 HST3-RM16514 间 677 kb 区段(图 1), 并从 SD 中克隆了抗褐飞虱基因。序列比对结果表明, 该基因为 *Bph3p* 的等位基因, 命名为 *Bph3p*。根据 *Bph3p* 的序列特征, 设计了分子标记 In-1 和 In-2, 可有效鉴别出抗飞虱基因 *Bph3p* (图 2)。该基因的分子标记及其应用方法已申请国家发明专利(201610987022.0), 并应用于抗褐飞虱水稻分子标记辅助育种。

**2.1.3 水稻产量性状粒厚主效位点*qGT8*的发掘**

以自育的细长粒型优质籼稻保持系川 106B 与籽粒宽厚饱满的籼稻保持系川 345B 杂交, 构建 F<sub>2</sub> 分离群体。通过分子标记连锁图谱分析, 在第 8 染色体长臂 RM6070-RM447 区段同时检测到控制稻谷粒宽和粒厚的主效 QTL (*qGW8* 和 *qGT8*)。进一步测序分析证明控制粒厚的 *qGT8* 为 *GW8*<sup>[8]</sup> 的等位基因。对该基因序列分析发现, 川 106B 在编码区第 3 外显子插入 2 bp 引起移码突变, 且位于 *qGT8* 的 OsmiR156 结合位点, 推测为川 106B 籽粒厚度变薄、宽度变细的关键位点。进一步比较 *qGT8* 近等基因系的稻米外观品质及产量性状, 发现 NIL-*qGT8*<sup>C-345B</sup> 的垩白粒率、粒厚、粒宽、千粒重、单株产量显著高于 NIL-*qgt8*<sup>C-106B</sup>。在该位点川 106B 的等位基因降低垩白粒率 35.25%, 而川 345B 的等位基因引起

千粒重增加 13.09%、单株产量增加 4.87%<sup>[9]</sup>。

**2.1.4 杂交籼稻骨干保持系岗46B产量及品质性状的QTL分析**

岗 46A 曾为长江流域杂交水稻的主要不育系, 具有产量配合力高、适应性广等突出优点, 但因稻米外观和食味品质较差限制了进一步的推广应用。本研究利用岗 46B 的低垩白、窄粒导入系 K1075 与岗 46B 构建 F<sub>2</sub> 和重组自交系 (RIL) 群体, 对稻谷产量及品质性状进行 QTL 分析, 在第 5 染色体 RM17990-RM18004-RM18068 区间同时检测到控制粒宽、粒厚、粒重、垩白粒率和长宽比的主效 QTL, 且增加粒宽、粒厚、粒重、垩白粒率的等位基因均来自岗 46B<sup>[10-11]</sup>。另有研究也曾报道, 增加垩白粒率的主效 QTL (*Chalk5*) 与增加产量(粒宽)的主效 QTL (*qSW5/GW5*, *GS5*) 紧密连锁<sup>[12]</sup>。在低回交世代扩大群体规模, 利用重组选择获得目的基因与紧密连锁标记重组的单株<sup>[13]</sup>, 以及发掘一些特定的遗传背景打破连锁<sup>[14]</sup>, 都将有助于解决高产性状与外观品质改良的矛盾。

**2.2 优质绿色性状改良技术的研究与应用**

**2.2.1 稻米品质相关基因分子标记辅助选择与表型筛选**

近年来, 本团队在三系杂交稻外观品质、碾米品质和蒸煮食味品质改良方面取得较好进展, 在规模化育种材料的鉴定与筛选工作中, 香味和直链淀粉含量的选择主要依据分子标记 (A-2-1 和 RA19) 鉴定结果, 重点选择有香味的等位基因和中低直链淀粉含量的基因型。分子标记 A-2-1 系本研究小组根据香味基因 *Os2-AP* 第 7 外显子上 8 bp 缺失设计的 InDel 引物, 经 PCR 扩增和聚丙烯酰胺凝胶电泳后可清晰区分香型(扩增 211 bp 条带)、杂合(同时扩增 211 bp 和 219 bp 条带)和非香型(扩增 219 bp 条带)基因型(图 3), 已申请国家发明专利(201510577858.9)。分子标记 RA19 为本研究小组依据 *Wx* 等位基因 (CT) n 多态性设计的微卫星引物<sup>[15]</sup>, 其扩增产率和效率明显高于 Blight 等<sup>[16]</sup> 设计的引物“484/485”, 应用 RA19 辅助选择快速培育稻米

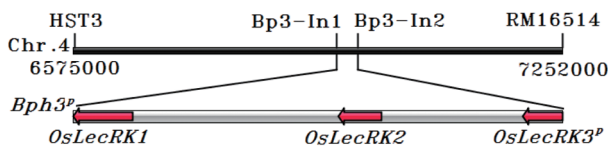
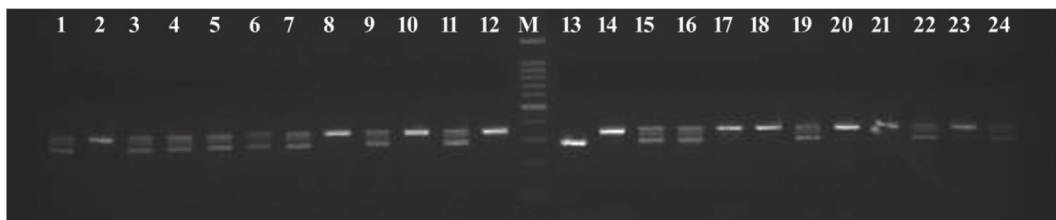


图1 *Bph3p*基因精细定位



M: 100 bp DNA Ladder; 1~12, 15~24: 分离单株; 13: SD; 14: TN1

图2 分子标记In-1在分离群体中的PCR扩增结果

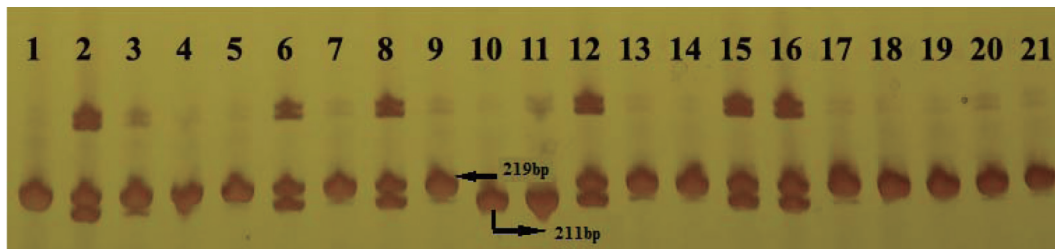


图3 利用引物A-2-1的PCR扩增鉴别香味基因型

直链淀粉含量中等的水稻品系方法已获得国家发明专利 (ZL200910058555.0)。稻米粒形、垩白和整精米率的选择通过目测并结合 SC-E 型 (杭州万深检测科技有限公司) 种子外观品质检测分析系统, 筛选外观、碾米品质优良的材料, 同时结合已经克隆或精细定位的相关基因/QTL 的分子标记 (*GW8*、*Chalk5*、*GS3*、*SW5* 等)<sup>[9,12,17-18]</sup> 进行辅助选择, 提高育种效率。

### 2.2.2 稻瘟病抗性基因分子标记辅助选择与病圃诱发鉴定抗病材料

根据成恢 177、IR65482-4-136-2-2B 等供体亲本的稻瘟病抗性基因来源, 利用 *Pik<sup>m</sup>*、*Pi40*、*Pi9* 和 *Pi54* 基因的功能标记或紧密连锁分子标记<sup>[19-22]</sup>, 对回交构建的导入系材料进行基因型选择, 同时结合病圃自然诱发鉴定, 培育持久抗稻瘟病材料。在四川省蒲江县稻瘟病常发区直播导入系材料, 以岗优 725 等作为诱发品种, 参照国际水稻研究所 (IRRI) 的调查方法<sup>[23]</sup> 鉴定叶瘟和穗颈瘟级别, 先后选育出抗稻瘟病恢复系材料 1 200 多份, 保持系材料和两用核不育材料 300 多份。

### 2.2.3 褐飞虱抗性基因分子标记辅助选择与网室接虫筛选抗虫材料

已报道的抗褐飞虱基因位点超过 30 个, 其中 *Bph3*、*Bph14+15*、*Bph18/Bph26* 等抗性基因已用于抗飞虱水稻新材料创制及新品种培育<sup>[24-28]</sup>。本研究主要以 Ptb33、IR78525-150、Shui Daw In、B5 等材料为抗源, 与本团队现有优良亲本材料杂交并回交, 结合分子标记辅助选择, 培育带有一个或多个抗性基因 (*Bph3*、*Bph14+15*、*Bph32*、*Bph18/Bph26* 等) 的水稻材料, 同时在苗期开展规模化接虫鉴定。目前, 已筛选出一批抗飞虱的保持系、两用核不育系和恢复系材料。

### 2.2.4 简易抗旱性筛选方法与抗旱品种评价

建立了一套简易的抗旱性筛选方法。在温室大棚中采用盆栽方法, 移栽成活后自然落干, 土壤水分保持在田间持水量的 50% 左右, 以全生育期保

持 3 cm 水层作为充分灌溉对照, 50% 田间持水量条件下相对于充分灌溉的性状相对值 (株高、播始历期、相对分蘖、生物干重) 作为评价水稻材料抗旱性的有效指标。自行研制了水稻试验盆栽自动加水系统 (ZL 201520431038.4)、自动灌溉系统及其控制方法 (201630576079.2)、电子称 (自动灌溉称重) (ZL201630576079.2) 等申请或获得国家专利, 实现了盆栽试验中称重和加水的自动化, 提高了鉴定筛选效率, 有利于扩大盆栽试验规模。

以四川区试对照品种岗优 725 及其恢复系绵恢 725 为对照, 利用简易筛选方法鉴定部分自育恢复系及所配杂交组合的抗旱性, 结果表明, 本团队育成的抗病恢复系成恢 727 的抗旱能力较强, 其有效分蘖、株高和生物干重相对值分别为 54.90%、94.56%、61.41%, 均高于对照绵恢 725, 生育期较充分灌溉条件提前 5~7 d; 利用成恢 727 与抗旱能力不同的不育系配组, 杂交  $F_1$  的抗旱表现有较大差异, 其中由抗旱不育系沪早 7A 与成恢 727 配制的  $F_1$  综合表现最好, 其有效分蘖、株高、生物干重的相对值均超过 70%, 生育期接近充分灌溉对照。这一结果表明, 要获得抗旱能力较强的杂交组合, 双亲均应具有较好的抗旱特性。

### 2.2.5 耐低磷水稻材料筛选

首先在缺磷的大田条件下进行磷高效利用规模化筛选, 对初选表现良好的材料进一步水培复筛。本研究以国际水稻所 (IRRI) 报道的营养液为基础, 磷含量仅为基础培养液的 20%, 以低磷培养液与正常营养液条件下的分蘖数、根长和叶色相对值作为鉴定指标, 现已从成恢 727 与老红谷、培 C122 等资源材料构建的导入系中筛选获得磷利用效率较高的材料。

### 2.2.6 抗倒伏性状评价及资源筛选

倒伏是影响水稻产量的重要因素之一。倒伏指数 (LI, 弯曲力矩 / 折断弯矩 \* 100) 可以作为一个综合指标大致评估水稻材料的抗倒伏能力<sup>[29-31]</sup>。本研究组在 3 个不同播期条件下对来自国内、国际水稻

所 (IRRI)、印度、美国等不同地区的 33 份水稻材料进行了抗倒伏性状调查与评价。结果表明, Kasalath 等倒伏指数大于 200 的材料成熟期均发生倒伏, 本团队培育的川 106B、成恢 177、川 345B 等材料在 3 次不同播期的倒伏指数均低于 100。评价抗倒伏能力应结合株高、地上部分生物学产量、基部第二节间长度等性状综合判别, 建议选择倒伏指数在 100 左右, 株高适中、有较高生物学产量、基部第二节间较短等性状协同改良抗倒性和丰产性<sup>[32]</sup>。

## 2.3 优质绿色性状的聚合与骨干种质创新

### 2.3.1 优质不育系的创制

采用细长粒型香稻保持系 IR58025B 与早熟香稻保持系宜香 1B 杂交, 育成了中低直链淀粉含量、垩白少、香气浓、产量配合力较好的长粒型不育系川 106A。该不育系经武汉国家稻米制品检验检测中心分析, 精米长宽比 4.7, 整精米率 62.2%, 垩白粒率 2%, 垩白度 0.1%, 透明度 1 级, 直链淀粉含量 16.4%, 胶稠度 83 mm, 碱消值 6.5, 达国标一级优质米标准<sup>[33]</sup>。川 106A 含有抗稻瘟病基因 *Pi-54*, 对稻瘟病具有一定抗性。

为进一步改良川 106B 的籽粒饱满度和异交习性, 本团队从川 106B/ 川 345B 的后代中, 注重优良株型、柱头粗大、充实度好和香气较浓等性状的聚合, 育成优异保持系及其不育系川康 606B、A, 川 608B、A 和川 609B、A。这些新不育系及其组合的米质优良、制种产量高。据不完全统计, 2017 年, 利用川康 606A 已配制出 11 个米质达部颁优质米新标准的杂交组合。

### 2.3.2 抗病、高配合力新恢复系的创制

20 世纪 90 年代, 本研究团队利用带有持久抗稻瘟病基因 *Pi-k<sup>m</sup>* 的广亲和、高光效美国爪哇稻 Lemont 育成抗稻瘟病、高配合力水稻恢复系成恢 177<sup>[34-35]</sup>。利用该恢复系已配制出 13 个杂交组合通过国家级或省级审定 (<http://www.ricedata.cn/variety/varis/614363.htm>)。进一步利用成恢 177 与骨干恢复系蜀恢 527 杂交, 采用系谱法, 着重选择株叶型优、抗倒力好、结实充实好、米质优良的单株或株系, 经连续多代测交和稻瘟病常发区同步鉴定抗性等方法育成抗稻瘟病新恢复系成恢 727<sup>[33]</sup>。目前, 本单位及其他合作单位利用成恢 727 已配制出 29 个抗病杂交组合, 36 次通过国家级或省级审定 (根据国家水稻数据中心 <http://www.ricedata.cn> 及 2018 年农作物品种审定结果公告信息统计)。利用成恢 727 与其他优良恢复系杂交, 创制出 R1778、R1459、

R1213、R5108 等优质、高配合力、抗稻瘟病新恢复系, 并配制出杂交组合参加国家或省级区域试验。

利用抗飞虱材料 B5 与成恢 3203 杂交, 采用系谱法, 并结合 *Bph15* (MS5)、*Bph14* (STS14) 基因功能标记进行辅助选择, 结合稻瘟病圃和褐飞虱接虫圃筛选, 育成兼抗飞虱、抗稻瘟病的新恢复系成恢 547。该恢复系后期转色佳、结实率高、产量配合力好、稻瘟病抗性强。网室接虫鉴定结果表明, 成恢 547 抗性为 3 级, 感虫对照品种 TN1 为 9 级。配制的双抗优质组合川康优 547 已进入省级区域试验。

### 2.3.3 节水抗旱恢复系的创制

利用旱恢 3 号分别与恢复系明恢 63、R172 杂交, 采用系谱选择, 结合 50% 田间持水量的水分胁迫处理方法, 从旱恢 3 号 / 明恢 63 中选育出节水抗旱恢复系成恢 708, 从旱恢 3 号 / R172 中筛选出抗旱恢复系成恢 31701。利用抗旱恢复系配制的杂交组合沪早 7A / 成旱恢 708 在 2015 年绿色超级稻项目组海南早稻新品种筛选试验中平均每公顷产 5.004 t, 比对照特粳占 25 增产 39.3%, 居该试验第 1 位; 2017 年参加上海市节水抗旱稻绿色通道试验和长江中下游试验表现突出。成恢 31701 与两系不育系巡天 15S 配制组合在广西早稻预试中表现突出, 已进入 2018 年广西早稻区试。

## 2.4 育成优质绿色杂交水稻新品种

川优 6203 系是利用长粒型优良食味不育系川 106A 与抗病恢复系成恢 3203 配制的优质绿色杂交水稻新品种<sup>[36]</sup>。该品种品质优良, 在四川省区试和长江上游国家区试中米质均达国颁二级优米标准, 其外观品质、加工品质和食味品质堪与泰国米媲美; 产量较高, 在四川省区试中比对照冈优 725 增产 2.90%, 在长江上游中籼迟熟组区试中比 II 优 838 增产 2.2%, 在湖北省中稻品种区试中比对照 Q 优 6 号增产 6.33%; 抗病性强, 在四川省区试中穗颈瘟平均 4.5 级, 国家区试中稻瘟病综合指数 3.6, 湖北省区试中稻瘟病综合指数 2.4 (国家水稻数据中心 <http://www.ricedata.cn>)。此外, 在水稻材料的二化螟茎秆接虫抗性鉴定试验中, 川优 6203 的幼虫死亡率为 62.00%, 表现为中抗。在土壤镉含量为 1.1 mg/kg 的筛选池内, 川优 6203 的糙米镉平均含量为 0.292 mg/kg, 比对照品种 II 优 838 的平均值低 38.66%, 达极显著水平。2014 年, 在川优 6203 百亩片示范现场验收中, 以朱英国院士为组长的专家组认为, 川优 6203 是一个集优质、高产、多抗突

出的绿色杂交水稻新品种, 解决了四川杂交水稻高产不优质的技术难题<sup>[37]</sup>。

川康优丝苗和川优五山是用自选优质新不育系川 608A、川康 606A 分别与五山丝苗配组而成的优质绿色杂交水稻新品种。川优五山米质优良、收获指数高、稻瘟病抗性强。川康优丝苗的主要优点是株叶型好、秆硬抗倒、生育期适中、适合机械化栽培, 且将优良米质、产量潜力、综合抗性和广适应性整合到较高水平。在 2017 年长江上游联合体区试中, 这两个组合的米质分别达到国标一级和二级优米标准(表 1), 适于在西南稻区作一季中稻栽培。2018 年的试验表明, 该品种可在长江中下游稻区做麦后直播稻栽培。

### 2.5 绿色优质高产新品种的示范与推广应用

优质高产杂交水稻川优 6203 于 2012 年被四川省财政采购省内品种使用权, 实行“品种政府采购, 企业集中繁育, 项目转化推广, 品牌合力打造”的推广新模式。2013 年川优 6203 在四川省内 15 个县(市)累计推广 0.4 万多  $\text{hm}^2$ , 2014 年在省内 77 个现代农业示范县种植 3.33 万  $\text{hm}^2$ , 2015 年已成为当年四川省水稻生产上种植面积最大的品种, 2016 年在省内外推广 20 万  $\text{hm}^2$  以上。依据川优 6203 的特征特性及四川优质稻发展现状, 任光俊<sup>[37]</sup>提出在优势生态区连片规模化种植, 以加工企业为龙头打造优质川米品牌和通过提升制种产量保障供种数量和质量等生产建议, 期望推动四川高档优质杂交水稻从品种培育 - 种子生产 - 示范推广 - 品牌打造的全产业链发展。中粮集团、谷黄金集团等粮食加工企业已积极参与川优 6203 订单生产, 联合推出了“四川长粒香”品牌。

川优 6203 的氮肥利用效率较高, 在每公顷 120~150 kg 纯氮条件下, 即可实现每公顷 7.5 t 以上的产量<sup>[38]</sup>。吕世华等<sup>[39]</sup>利用川优 6203 等优质稻在四川简阳市新天地水稻合作社进行有机种植开发, 取得很好的经济社会效益。试验表明, 采用覆膜有机水稻种植技术, 川优 6203 等优质稻在干旱年份每公顷产量达 7.5 t 以上; 2015 年, 合作社有

机大米批发价达到 16~24 元/kg, 农民种植 1  $\text{hm}^2$  有机水稻的纯收入至少在 15 000 元以上; 在该合作社推广优质稻有机种植 6 年, 共减少稻田化肥施用折合纯氮 18.5 t、五氧化二磷 10 t、氧化钾 6.5 t, 节省成本达 20 万元以上, 生态环境得以显著改善。

### 3 展望

经过 10 余年的艰苦努力, 本研究在绿色性状基因发掘, 创制兼具优质、高配合力、抗稻瘟病、抗飞虱等优良性状的新材料和推广优质高产抗稻瘟病新品种方面取得了可喜成绩, 提升了长江上游稻区优质抗病杂交水稻生产水平, 实现了绿色超级稻育种目标。但是, 如何将更多的有利基因聚合, 以培育更高水平的绿色超级稻新品种仍是我们今后努力的方向。

要注重育种效率的提高。对存在显性基因可以利用的绿色性状(如稻瘟病、白叶枯病和稻飞虱抗性等), 可通过向两个亲本材料导入不同的基因, 再通过双亲杂交实现多基因的聚合<sup>[33]</sup>。此外, 在开展功能基因分子标记辅助选择的基础上, 充分利用水稻基因组技术工具(如水稻基因组育种芯片)进行全基因组遗传背景筛选<sup>[40]</sup>, 有利于快速获得定向改良的育种材料。同时, 要重视两系法杂交稻育种。两系法不受恢保关系的限制, 不育系繁殖产量高、成本低、纯度高, 且培育两系不育系可节省三系法转育不育系的时间, 加速育种利用进程。2017 年国家及南方 10 省通过审定的水稻新品种中, 籼型两系杂交稻占 44%; 四川省自 1997 年以来没有通过审定的两系杂交稻(根据国家水稻数据中心 <http://www.ricedata.cn/> 数据统计)。此外, 针对一些单个基因贡献率较小的绿色性状(氮磷高效利用、抗旱性、稻曲病抗性等), 目前主要的任务是建立稳定的筛选鉴定方法, 育种策略应着眼于表型鉴定, 基因型选择可作为参考。为满足不断增加的中高端稻米消费市场需求, 要进一步加强高档优质杂交水稻的培育, 更加注重加工和食味品质性状的改良, 以育成综合米质水平完全可与泰国米媲美的绿色优质

表1 优质高产杂交水稻新品种的米质表现  
(长江上游水稻联合体区域试验, 2017)

品种名称	糙米率/%	整精米率/%	长宽比	垩白粒率/%	垩白度/%	透明度/级	碱消值/级	胶稠度/mm	直链淀粉/%	优质级别
川康丝苗	80.5	60.9	3.2	11.3	1.6	1.3	6.5	80.0	17.2	国标2级
川优五山	80.5	63.0	3.5	7.0	0.8	1.0	6.8	76.7	17.0	国标1级
F优498(对照)	81.2	45.5	3.0	44.0	6.4	2.0	5.6	83.7	20.2	普通

高产水稻新品种。

### [参 考 文 献]

- [1] Zhang QF. Strategies for developing Green Super Rice. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2007, 104: 16402-9
- [2] 任光俊, 陆贤军, 高方远, 等. 中国泰米的育种策略[C]. 中国科协青年科学家论坛, 2004: 36-40
- [3] 徐春春, 纪龙, 方福平, 等. 西南地区水稻产业发展现状及存在问题与对策. *贵州农业科学*, 2016, 44: 142-6
- [4] 张毅. 长江流域水稻资源型功能肥料的设计与验证[D]. 北京: 中国农业大学, 2013
- [5] 吴良泉, 武良, 崔振岭, 等. 中国水稻区域氮磷钾肥推荐用量及肥料配方研究. *中国农业大学学报*, 2016, 21: 1-13
- [6] Ren JS, Gao FY, Wu XT, et al. Bph32, a novel gene encoding an unknown SCR domain-containing protein, confers resistance against the brown planthopper in rice. *Sci Rep*, 2016, 6: 37645
- [7] 黄俊. 水稻品种SD抗褐飞虱的遗传分析及初步定位[D]. 成都: 四川农业大学, 2014
- [8] Wang SK, Wu K, Yuan QB, et al. Control of grain size, shape and quality by OsSPL16 in rice. *Nat Genet*, 2012, 44: 950-4
- [9] 高方远, 罗正良, 任鄯胜, 等. 稻粒厚主效位点qGT8精细定位和候选基因分析. *中国农业科学*, 2015, 48: 4859-71
- [10] 高方远, 邱玲, 陆贤军, 等. 杂交籼稻骨干保持系岗46B稻谷粒形及垩白的QTL分析. *中国水稻科学*, 2014, 28: 235-42
- [11] Gao FY, Zeng LH, Qiu L, et al. QTL mapping of grain appearance quality traits and grain weight using a recombinant inbred population in rice (*Oryza sativa* L.). *J Integr Agr*, 2016, 15: 1693-702
- [12] Li YB, Fan CC, Xing YZ, et al. *Chalk5* encodes a vacuolar H<sup>+</sup>-translocating pyrophosphatase influencing grain chalkiness in rice. *Nat Genet*, 2014, 46: 398-404
- [13] Collard BCY, Mackill DJ. Marker-assisted selection: an approach for precision plant breeding in the 21st century. *Phil Trans Royal Soc B Rev*, 2008, 363: 557-72
- [14] Liu WQ, Fan YY, Chen J, et al. Avoidance of linkage drag between blast resistance gene and the QTL conditioning spikelet fertility based on genotype selection against heading date in rice. *Rice Sci*, 2009, 16: 21-6
- [15] 李治华, 曾礼华, 高方远, 等. 水稻Wx基因微卫星标记的开发与利用. *西南农业学报*, 2009, 22: 231-5
- [16] Bligh HFJ, Till RI, Jones CA. A microsatellite sequence closely linked to the waxy gene of *Oryza sativa*. *Euphytica*, 1995, 86: 83-5
- [17] Wang CR, Chen S, Yu SB. Functional markers developed from multiple loci in GS3 for fine marker-assisted selection of grain length in rice. *Theor Appl Genet*, 2011, 122: 905-13
- [18] Shomura A, Izawa T, Ebana K, et al. Deletion in a gene associated with grain size increased yields during rice domestication. *Nat Genet*, 2008, 40: 1023-8
- [19] Costanzo S, Jia Y. Sequence variation at the rice blast resistance gene *Pi-km* locus: implications for the development of allele specific markers. *Plant Sci*, 2010, 178: 523-30
- [20] Deng YW, Zhu XD, Shen Y, et al. Genetic characterization and fine mapping of the blast resistance locus *Pigm(t)* tightly linked to *Pi2* and *Pi9* in a broad-spectrum resistant Chinese variety. *Theor Appl Genet*, 2006, 113: 705-13
- [21] Jeung JU, Kim BR, Cho YC, et al. A novel gene, *Pi40(t)*, linked to the DNA markers derived from NBS-LRR motifs confers broad spectrum of blast resistance in rice. *Theor Appl Genet*, 2007, 115: 1163-77
- [22] Ramkumar G, Srinivasarao K, Madhan Mohan K, et al. Development and validation of functional marker targeting an InDel in the major rice blast disease resistance gene *Pi54* (*Pikh*). *Mol Breeding*, 2011, 27: 129-35
- [23] IRRRI. Standard Evaluation System for Rice [S]. 1996:17-8
- [24] 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. *中国农业科学*, 2006, 39: 2132-7
- [25] 刘开雨, 卢双楠, 裘俊丽, 等. 培育水稻恢复系抗稻褐飞虱基因导入系和聚合系. *分子植物育种*, 2011, 9: 410-7
- [26] Hu J, Li X, Wu CJ, et al. Pyramiding and evaluation of the brown planthopper resistance genes *Bph14* and *Bph15* in hybrid rice. *Mol Breeding*, 2012, 29: 61-9
- [27] Wang HB, Ye ST, Mou TM. Molecular breeding of rice restorer lines and hybrids for brown planthopper (BPH) resistance using the *Bph14* and *Bph15* genes. *Rice (N Y)*, 2016, 9: 53
- [28] Jiang HC, Hu J, Li Z, et al. Evaluation and breeding application of six brown planthopper resistance genes in rice maintainer line Jin 23B. *Rice (N Y)*, 2018, 11: 22
- [29] 李红娇, 张喜娟, 李伟娟, 等. 不同穗型粳稻品种抗倒伏性的比较. *中国水稻科学*, 2009, 23: 191-6
- [30] 胡继松, 彭伟正, 庞伯良, 等. 水稻抗倒伏性及评价指标体系研究进展. *湖南农业学报*, 2011, 13: 41-4
- [31] 雷小龙, 刘利, 刘波, 等. 杂交籼稻F优498机械化种植的茎秆理化性状与抗倒伏性. *中国水稻科学*, 2014, 28: 612-20
- [32] 吴泽芳, 衡艳, 邱丹, 等. 33份水稻材料的抗倒伏性评价. *西南农业学报*, 2016, 29: 736-44
- [33] 任光俊, 颜龙安, 谢华安. 三系杂交水稻育种研究的回顾与展望. *科学通报*, 2016, 61: 3748-60
- [34] 陆贤军, 任光俊, 李青茂, 等. 优质抗稻瘟病水稻恢复系成恢177的选育与利用. *杂交水稻*, 2007, 22: 18-21
- [35] 任鄯胜, 陆贤军, 高方远, 等. 水稻恢复系‘成恢177’稻瘟病抗性遗传背景分析. *中国农学通报*, 2015, 31: 31-9
- [36] 陆贤军, 任光俊, 高方远, 等. 优质高产香型杂交水稻新组合川优6203. *杂交水稻*, 2011, 26: 89-90
- [37] 任光俊. 新一代优质高产杂交水稻良种川优6203主要特点和示范推广建议. *四川农业科技*, 2015, (3): 5-6
- [38] 池忠志, 李旭毅, 姜心禄, 等. 优质杂交稻川优6203高产栽培技术. *耕作与栽培*, 2014, (1): 59-60
- [39] 吕世华, 董瑜皎, 袁江, 等. 四川省农科院优质常规稻有机种植亩产突破1300斤[EB/OL]. <http://www.chinawestagr.com/homepage/showcontent.asp?id=22795>
- [40] Yu HH, Xie WB, Li J, et al. A whole-genome SNP array (RICE6K) for genomic breeding in rice. *Plant Biotechnol J*, 2014, 12: 28-37