广东农业科学 2021，48（8）：1-8
Guangdong Agricultural Sciences DOI:10.16768/j.issn.1004-874X.2021.08.001

周少川，柯苇，缪若维，李宏，黄道强，王重荣．水稻核心种质育种体系创建及优质稻育种实践［J］．广东农业科学，2021，48（8）：1-8.

水稻核心种质育种体系创建及优质稻育种实践

周少川，柯　苇，缪若维，李　宏，黄道强，王重荣
（广东省农业科学院水稻研究所 / 广东省水稻育种新技术重点实验室，广东 广州 510640）

摘　要：为实现水稻育种学和水稻种质资源学的无缝对接，常规育种技术与先进适用技术的有效融合，创建了水稻核心种质育种理论和材料体系。概述了水稻核心种质育种理论体系，包括水稻核心种质概念、理想基因系统与突破性大品种对应假说、理想模型（模式）构建、前景选择与背景选择统筹、基因集的生物学意义、核心种质基因型和表现型云数据、先进适用综合育种方法研究和核心种质杂种优势利用等 8 个部分。阐述了黄华占核心种质育种材料体系、美香占核心种质育种材料体系和丰八占衍生恢复系华占核心种质育种材料体系等三套育种材料体系创建历程，并对其衍生的重大品种即当前我国籼稻推广面积最大的品种黄华占、我国连续三届获得全国优质稻品种食味品质鉴评金奖唯一籼稻品种美香占 2 号、我国配组组合最多恢复系华占等突破性品种（恢复系）作了简介，讨论了水稻遗传育种学的现状和方向。

关键词：水稻；优质稻；核心种质；育种理论；突破性品种
中图分类号：S511.033　　**文献标志码**：A　　**文章编号**：1004-874X（2021）08-0001-08

Creation of Rice Core Germplasm Breeding Systems and Practices in Good-quality Rice Breeding

ZHOU Shaochuan, KE Wei, MIAO Ruowei, LI Hong, HUANG Daoqiang, WANG Chongrong
（*Rice Research Institute, Guangdong Academy of Agricultural Sciences/ Guangdong Key Laboratory of New Technology for Rice Breeding, Guangzhou* 510640, *China*）

Abstract: Rice core germplasm breeding systems of theory and breeding materials were created by research team of Guangdong Academy of Agricultural Sciences in order to realize no-slot joint of rice breeding and rice germplasm resources, effective integration of conventional breeding techniques and advanced and applicable technology. Rice core germplasm breeding theoretical systems including the conception of rice core germplasms, corresponding hypothesis between ideal gene system and breakthrough rice variety, creation of ideal model, comprehensive arrangement of foreground selection and background selection, biological significances of DNA block, phenotypes of rice core germplasms and cloud data of genotypes, research on rice synthesis breeding by advanced and applicable technologies, heterosis utilization of rice core germplasms were briefed. The creation of Huanghuazhan, Meixiangzhan and Huazhan core germplasm breeding material systems were traced back, and both the breakthrough varieties of Huanghuazhan with the largest indica rice promotion area in China, and Meixiangzhan No. 2 with the most excellent eating quality in China, the breakthrough restorer line of Huazhan with the most excellent combining ability in rice breeding history, which derived from the core germplasm breeding material

---

收稿日期：2021-06-09
基金项目：国家科技攻关重点项目（852002201201，96200220220123）；国家 863 计划项目（2001AA241011，2006AA1021F7，2006-G-1，2010AA101808，2014AA10A604-19，2014AA10A603-10）；广东省应用型科技专项（2015B020231001）；岭南现代农业实验室科研项目（NT2021001）
作者简介：周少川（1962—），男，研究员，研究方向为水稻遗传育种，E-mail：xxs123@163.com
叶焯荣、徐炎康、江雁芳、赵丽霞、李康活、王志东、周德贵、陈宜波、赵雷、潘阳阳、龚蓉等团队成员参加了本项工作，谨此致谢。

systems were introduced. The present situation and direction of rice genetics and breeding were discussed.

Key words: rice; good-quality rice; core germplasm; breeding theory; breakthrough variety

传承中国现代稻作学奠基人丁颖先生的水稻科学体系，以黄耀祥院士为核心的广东省农业科学院水稻育种团队开启了水稻矮化育种，培育了广场矮、珍珠矮、广陆矮4号、桂朝2号等系列水稻品种，创建了水稻生态育种理论体系，成为我国水稻育种史上一项划时代的重要成就[1-2]。周少川育种团队（1985—1995年为两特育种课题，1995年10月与内销优质育种课题合并为新品种选育研究室）于1987、1989年育成高效内销优质稻国审新品种珍桂矮1号（GS01003-1994）和广适性超高产国审新品种特三矮2号（GS01001-1995），两个品种累计推广面积均超过140万 hm^2，曾是我国中籼稻的对照种。珍桂矮1号一直是我国主要的米粉专用品种，特三矮2号具有超高产性能，作为我国中籼对照种期间产量一直高于参试品种（组合）。为寻求更大突破，周少川育种团队从材料与方法入手，经多年凝练创建了水稻核心种质育种体系，历经35年优质稻育种实践取得重大成果，培育优质稻新品种90多个，合作育成优质杂交稻组合300多个，近年育成种年推广面积超533万 hm^2，累计推广面积超4 000万 hm^2。黄华占和五山化稻5次通过印度、印度尼西亚、孟加拉、菲律宾和莫桑比克等国外审定品种并规模化应用。现将水稻核心种质育种体系的创建，以及优质稻育种实践——黄华占、美香占2号、丰八占衍生系列品种的选育及其应用报道如下。

1 水稻核心种质育种提出的背景与目标

我国水稻育种界在总结1949年以来我国水稻育种史基础上得出结论：水稻育种学仅利用约5%的水稻种质资源即取得了以矮化育种为标志的第一次绿色革命和以杂种优势利用为标志的两次重大突破[1]。如何实现水稻育种学和水稻种质资源学的无缝对接、有限扩大遗传距离，是培育突破性大品种的必备条件。21世纪是生命科学飞速发展、科学技术提速交融的年代，能否提出一种育种方法有效兼容先进适用技术与经验育种技术，高效育成新品种是育种工作者梦寐以求的愿望。为实现水稻育种学和水稻种质资源学的无缝对接以及常规育种技术与先进适用技术的有效融合，本团队以广东水稻育种体系为基础，开启了水稻核心种质育种理论和材料体系创建探索。

2 水稻核心种质育种理论体系的创建

2.1 水稻核心种质育种概念及特征

经过长达10多年的认真讨论和思考，1998年周少川、柯苇等依据广东省优质稻育种实践，从“优良种质及其衍生系统”即俗称的“骨干亲本”发展到动态的核心种质，提出核心种质育种理论并逐步完善[1, 3]。水稻核心种质是本团队在水稻种质资源学的核心种质（以最小的样品代表最大的遗传多样性）和水稻育种学中的优良种质及其衍生系统（俗称骨干亲本）基础上，依据种质资源学和育种学学科的进一步交叉发展整合提炼的创新性概念。水稻核心种质是指在具有某些优良性状的育种材料中控制某些优良性状的特殊基因群体或基因系统，在品种改良过程中它们能够沿着育种目标置换和扩充基因群体，直至全面符合育种目标。核心种质可用一级、二级、三级、n级核心种质标志其动态变化，随着科技发展，可逐步精确地量化。它们是种质资源学中重要的核心种质即应用核心种质，是实现水稻育种学与水稻种质资源学对接重要载体[3]。

以青六矮1号为起点，广东优质稻核心种质具有以下特点：（1）遗传基础广泛。综合了桂朝2号、特青的超高产性能，青六矮1号优质高产抗病优良综合性状，早晚稻生态型间优势（香珍288），粳籼亚种间优势（粳籼杂交材料677），国内外优质源材料七丝占、中籼3588、中籼9194、澳洲袋鼠丝苗、泰国茉莉香105、IR36和28占等的优质性状。（2）配合力强，其基因系统具有较强的兼容和新陈代谢能力，能较好地与遗传距离较远的种质相结合，保持原有优点，改良原有的不理想性状，育成的品种类型多，育种成效好。（3）综合农艺性状优良、抗性好，可被重复利用且育种成效显著。（4）发掘并融合新的高产和超高产源、优质源和抗源是核心种质升级的根本[3]。

2.2 理想基因系统与突破性大品种对应假说

在育种实践中我们提出理想基因系统与突破

性大品种对应假说：假设水稻存在理想基因系统，水稻改良过程实际是由原始基因系统向理想基因系统运动的轨迹，一个相对理想基因系统的整合完成导致突破性大品种育成，突破性大品种源于理想基因系统的整合。在品种改良过程中，水稻核心种质能沿着育种目标置换和扩充基因群体，兼容升级直至全面符合育种目标，育成突破性大品种。培育突破性大品种是水稻核心种质育种的终极目标。2005、2006、2008 年本团队育成了广适性优质稻品种黄华占、优良食味品质品种美香占 2 号和广谱性恢复系华占和五山丝苗及其重大组合，全面覆盖南方稻区[4–7]。

2.3 理想模型（模式）构建

水稻理想基因系统与水稻理想模型（模式）密切相关。应用数理统计软件，通过系统的田间设计和室内外考种和综合品质分析，我们建立了核心种质株型和品质理想模型指导育种实践，通过常规技术与现代技术的有机结合有效缩减育种规模精准育种，前景选择和背景选择统筹提高育种效率。近年来我们共建立了 3 套 5 个核心种质衍生系统株型和品质理想模型（表 1）[4–6]，

表 1 株型和品质理想模型构建

Table 1 Construction of idea models of plant type and rice quality

性状 Trait	青六矮 1 号 Qingliu' ai No.1	丰八占 1 号 Fengbazhan No.1	黄华占 Huanghuazhan
有效穗数 Effective panicles per square meter	> 284	307	297
株高 Plant height（cm）	> 91.4	> 102.0	> 102.2
穗长 Panicle length（cm）	< 22.4	< 22.6	< 21.3
每穗总粒数 Total spikelets per panicle	170	146	154
每穗实粒数 Grains per panicle	< 147	≈ 116	≈ 125
着粒密度 Grain density per 10 cm panicle	< 76	≈ 64.5	≈ 72.2
千粒重 1000-grain weight（g）	> 20	≈ 21.3	≈ 21.5
倒三叶长 Converse third leaf length（cm）	> 51.6	> 52.3	> 54.6
长宽比 Length/width ratio	> 3.05	> 3.3	> 3.3
垩白粒率 Chalkiness rate（%）	19.1	9.0	9.2
垩白度 Chalkiness degree（%）	< 5.5	< 2.5	< 1.0
直链淀粉含量 Amylose content（%）	< 23.1	15.0~17.0	16.9~21.0
胶稠度 Gel consistency（mm）	> 53.7	> 71	≈ 79.4

培育了核心种质育种材料体系和系列优质稻新品种。

2.4 前景选择与背景选择统筹

水稻核心种质育种以各级核心种质为背景，育种材料中携带的优异基因为前景，统筹前景选择和背景选择，前景选择与背景选择统筹成效是水稻核心种质育种的关键所在。1~11 级核心种质即背景基因系统聚集了越来越完善的大多数有利基因，前景材料具有背景基因系统缺少的独特或有利基因，每次前景基因整合进背景基因系统都有效提高了该基因系统理想化和进化程度。这种以实现水稻育种学与水稻种质资源学的对接，培育突破性大品种为目标，通过现代技术和常规技术的有机结合有效缩减育种规模精准育种，前景选择与背景选择统筹提高育种效率，沿着核心种质的兼容、创新升级而达到理想基因系统逐步完善而展开的高效育种方法，称为水稻核心种质育种（表 2、图 1）[7–8]。

2.5 基因集的生物学意义

在黄华占 65 年育种史中，共有 1 113 个 DNA Block 模块受到有效选择，被称为黄华占可追溯

表 2 黄华占核心种质理想基因系统构建过程

Table 2 Construction of ideal gene system of Huanghuazhan core germplasms

年份 Year	季别 Season	组合 Combination	核心种质 Core germplasma	育成时间 breeding time
1982 年	晚季	三青矮 2 号 ×（青油占 / 矮家伙）$_{F3}$	一级核心种质 青六矮 1 号	1986 年晚季
1987 年	早季	青六矮 1 号 × 特青	二级核心种质 丰青矮	1990 年晚季
1990 年	晚季	长丝占 × 丰青矮	三级核心种质 丰矮占 1 号	1993 年早季
1994 年	早季	丰矮占 1 号 ×28 占	四级核心种质 丰八占 1 号	1996 年晚季
1996 年	晚季	丰八占 1 号 × 华丝占	五级核心种质 丰华占	1999 年早季
2000 年	早季	黄新占 × 丰华占	六级核心种质 黄华占	2002 年晚季
2002 年	晚季	茉莉丝苗 × 黄华占	七级核心种质 黄莉占	2005 年晚季
2004 年	晚季	黄莉占 × 粤广丝苗	八级核心种质 黄广占	2008 年早季
2006 年	晚季	黄广占 ×（黄华占 / 丰粤占）	九级核心种质 黄广油占	2009 年晚季
2010 年	晚季	黄广油占 × 丰粤华占	十级核心种质 黄广华占 1 号	2013 年晚季
2013 年	晚季	黄广软占 × 黄广华占 1 号	十一级核心种质双黄占	2018 年晚季

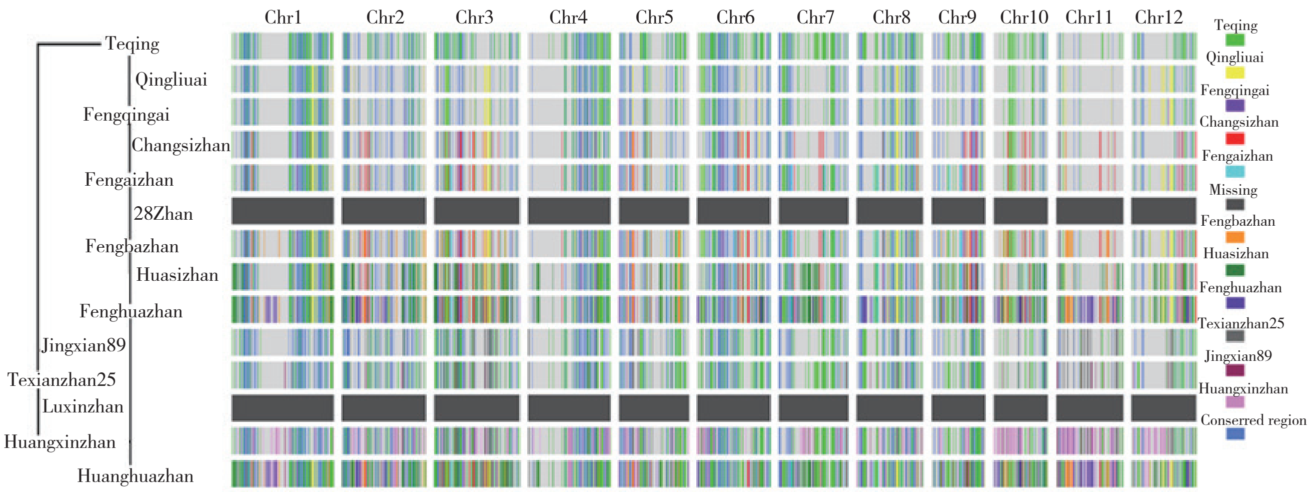

图 1　黄华占育种过程中受选择位点的系谱分析

Fig. 1　Pedigree analysis of selected loci in Huanghuazhan breeding

DNA 模块（Hanghuazhan traceable blocks，简称 HTBs），其控制株型、产量和品质基因受人工选择（图 2），遗传基础广泛，其育成是多代育种家共同努力的结果[9]。诠析水稻核心种质基因集（DNA Block 模块）生物学意义是水稻核心种质育种长期而重要内容。

2.6　核心种质基因型和表现型云数据

以本团队创建的三套水稻核心种质材料体系为基础，我们初步构建水稻核心种质基因型和表现型云数据：迄今本团队建立了水稻全基因组 SNP 分子标记分子育种云平台（http://119.23.210.168/），获得“水稻全基因组 SNP 标记分子育种云平台”（简称 SNP 标记育种云平台）软件著作权（2018SR164559）和相关专利，有效实现优质稻育种背景选择和前景选择及有利基因的聚合[10-12]，育成了黄华占、黄广美占和黄广香占等一批优质稻新品种，90 多个新品种以黄华占、美香占 2 号和华占（五山丝苗）为第一层次；黄广油占、黄广华占 2 号和五山软占为第二层次；黄广太占、双黄占和五广丝苗为第三层

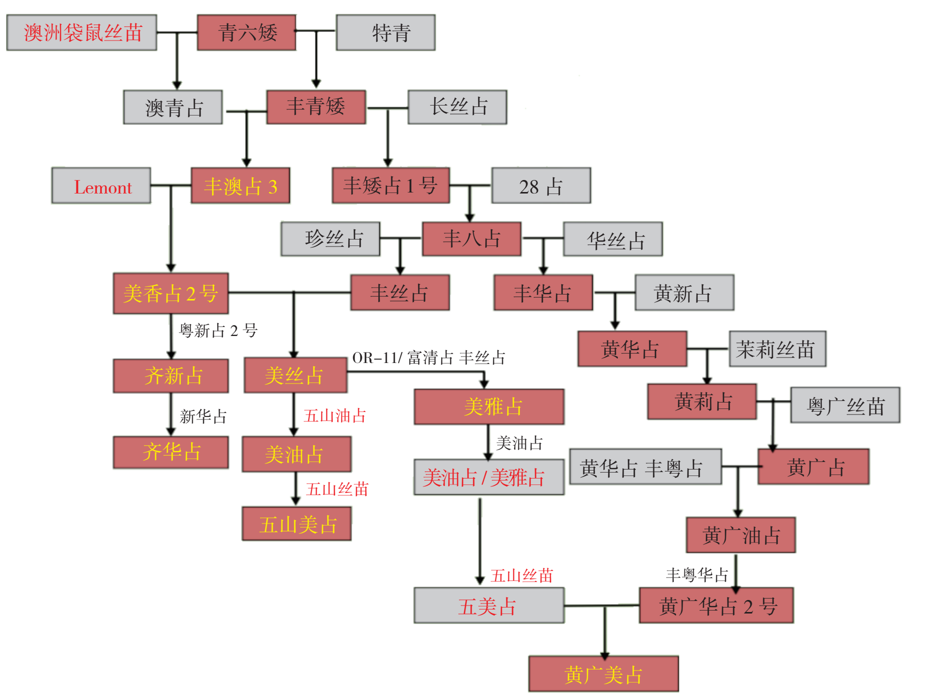

图 2　美香占 2 号系谱及 7 个衍生品种

Fig. 2　Pedigree of Meixiangzhan No. 2 and seven derived varieties

次有序推进，为我国水稻产业的可持续发展做出重大贡献并做好了技术储备。

2.7 先进适用综合育种方法

水稻核心种质育种先进适用综合育种方法研究目标在于实现有效缩减育种规模精准育种，本团队创建了近红外线活体检测等技术有机结合的综合育种方法育成了黄华占：首先探明了水稻直链淀粉含量与稻米食味品质的关系，建立了谷粒直链淀粉含量活体检测技术体系和华南优质稻食味品质标准曲线，创建了近红外线活体检测直链淀粉含量方法，运用抗病分子标记与病区自然鉴定辅助有机结合的综合育种方法，通过活体检测、理化分析、食味品质仪与食味品尝有机结合，提高品质选择效率；应用抗倒育种圃、耐热育种圃、耐旱育种圃、耐草育种圃、氮高效育种圃和磷高效育种圃等专项育种圃，提高抗倒性、耐热性、耐旱性、氮磷高效性状、稻瘟病和白叶枯病和稻瘿蚊抗病性筛选效率。分步骤聚合了桂朝 2 号、特青高产基因，长丝占、华丝占和 IR841 等优质基因以及 28 占、矮三芦占、8072–2 等抗病基因；分阶段育成了丰八占 1 号、丰华占和黄华占，黄华占品质、产量和抗逆性有机结合实现了技术跨越。

2.8 核心种质杂种优势利用

在核心种质杂种优势利用方面，2000 年周少川等依据水稻核心种质育种理论及杂种优势假说，提出应用广东常规优质稻创新恢复系，全面提升杂交稻优质、高产和广适性综合农艺性状的战略构思。以关键核心种质丰八占为起点，历经 15 年，2015—2018 年本团队育成黄华占、黄莉占、黄粤丝苗、黄广油占和五山丝苗系列优质杂交稻恢复系及其优良杂交组合 27 个，68 次通过国家或省级审定（含引种许可）。以隆两优 534、荃优丝苗、徽两优丝苗、晶两优 1377 和桃优香占等为代表性的 27 个优质稻杂交组合实现了预期育种目标，全面大规模产业化。15 年育种实践证明：杂交稻恢复系同样遵循品种改良本质上是从原始基因系统向理想基因系统逐渐优化的运动轨迹。利用丰八占衍生品种配组培育具有优质、高产、抗逆性强、广泛适应性等优异综合农艺性状杂交稻组合是可行的育种方法。丰八占衍生系统在矮化育种后可能已经具有优质、恢复性优良和良好的稻瘟病抗性[13]。其中华占成为我国配组最广的恢复系，累计推广面积超 6 667 万 hm^2，以华占为代表的丰八占系列恢复系即华占核心种质育种材料体系已成为我国新一代标志性恢复系。

3 优质稻育种实践

3.1 广适型优质稻品种黄华占的选育及其应用

本团队通过应用核心种质将水稻育种学和水稻资源学有机结合，构建了优质稻株型和品质理想模型，从一级核心种质青六矮 1 号创制开始，分步聚合了桂朝 2 号、特青高产基因，长丝占、华丝占等优质基因以及 28 占、矮三芦占、8072–2 等抗病基因。应用近红外线活体检测技术、食味品质仪、抗逆专项育种圃等提高品质、抗逆性和氮磷高效性状筛选效率，创建综合育种方法育成了黄华占，实现了优质、高产、抗逆与广适性高度统一（表 1）。黄华占通过 9 省（市）品种审（认）定和印度等 3 国审定，比常规稻对照种平均增产 12.99%，比杂交稻对照种平均增产 5.41%（表 3），国标优质 1 级（表 4、表 5），抗逆性强，是我国首个同时适合华南早晚种植和长江流域作晚稻和中稻种植的广适型优质稻品种，为我国品种升级换代发挥了重要作用，在国内外享有盛誉。

2006 年起黄华占成为广东、湖北、湖南、江西省农业主导品种。组装集成黄华占直播和再生稻等栽培技术，助推耕作制度变革。本团队与企业深度合作，创制优质杂交稻良种良法示范推广成效显著，创新米业公司稻米品牌拉动黄华占大

表 3 黄华占及其溯源品种在广东省区试的综合表现

Table 3 Comprehensive performance of Huanghuazhan and its derivative varieties in regional trials in Guangdong province

品种 Variety	年份 Year	单产 Yield（kg/667m²）	每穗总粒数 Grains per particle	结实率 Seeding rate（%）	千粒重 1000–grain weight（g）	有效穗数 Effective panicles	优质等级 Quality grain	稻瘟病抗性 Blast resistance	白叶枯病抗性 Bacterial blight resistance
丰八占 Fengbazhan	1999、2000	388.78	113.9	79.8	21.7	20.0	部颁 2	中抗	中抗
丰华占 Fenghuazhan	2000、2001	426.98	124.2	81.9	20.9	22.0	部颁 2	中抗	抗
黄华占 Huanghuazhan	2003、2004	468.38	120.7	83.7	22.7	21.4	国标 1	抗	抗

表 4　黄华占在南方稻区区试产量表现

Table 4　Yield performances of Huanghuazhan in regional trials in South China

省份 Province	年份 Year	季别 Season	单产 Yield（kg/667m²）	比对照增产 Yield ± CK（%）	CK
广东 Guangdong	2003、2004	早	468.38	2.12	粤香占
湖南 Hunan	2005、2006	中	547.8、538.4	12.7**、1.0	金优 207, Ⅱ优 58
湖北 Hubei	2005、2006	一晚	535.93	6.23**	汕优 63
海南 Hainan	2006、2007	双晚	445.33、384.14	3.76*、20.60**、4.22*	特籼占 25, Ⅱ优 128，博Ⅱ优 15
广西 Guangxi	2006、2007	早、晚	484.37	31.27**	七桂占
浙江 Zhejiang	2007、2008	中	531.55	−2.65	两优培九
江西 Jiangxi	2009	双晚	485.19	2.99	淦鑫 688
云南 Yunnan	2009、2010	中	644.55	20.63**	红香软 7 号
重庆 Chongqing	2009、2010	中	457.14	7.05**	胜泰 1 号

注：* 表示差异显著，** 表示差异极显著。

Note: *represent significant differences, **represent extremely significant differences.

表 5　黄华占在南方稻区各省区试中的稻米品质

Table 5　Grain quality of Huanghuazhan in the regional trials in South China

省份 Province	出糙率 Brown rice percent age（%）	整精米率 Head rice percent age（%）	垩白粒率 Chalkiness rice percent age（%）	垩白度 Chalkiness degree（%）	直链淀粉含量 Amylos content（%）	胶稠度 Gel consistency（mm）	长宽比 Length/Width ratio	优质等级 Quality grade
广东 Guangdong	80.1	69.5	7.0	0.9	17.3	85.0	3.4	早季特二晚季国标 1
湖南 Hunan		69.1	4.0	0.4	16.0	79.0	3.5	部颁 3 级
湖北 Hubei		66.7	3.0	0.4	17.4	73.0	3.4	国标 1 级
海南 Hainan		55.1	5.0	0.3	17.2	76.0	3.6	国标 2 级
广西 Guangxi		56.6	4.0	1.7	14.5	82.0	3.5	
浙江 Zhejiang		64.9	17.0	2.0	17.6	76.0	3.4	部颁 1 级
江西 Jiangxi		70.8	24.0	1.9	16.5	50.0	2.9	国标 1 级
云南 Yunnan	80.4	69.8	14.0	1.0	16.0	78.0	3.3	国标 2 级
重庆 Chongqing	80.2	66.7	12.0	2.5	15.2	86.0	3.0	国标 3 级
陕西 Shanxi	80.9	63.8	5.0	0.6	17.8	78.0	3.0	国标 1 级

规模推广。黄华占被誉为“直播先锋，改制先锋，品牌先锋，效益先锋，替代先锋”，是当前我国稻米市场的价格晴雨表，为南方籼米不可或缺的优质品牌，2013—2017 年连续五年位列我国籼稻推广面积前两位，2018 年起成为我国推广面积最大的籼稻品种，迄今单一品种推广面积 1 100 万 hm²，社会经济效益 423.72 亿元，获中华农业科技奖一等奖、广东省科学技术奖一等奖和大北农科技奖成果奖一等奖。

3.2　广东丝苗型优质稻新品种美香占 2 号的选育及其应用

针对华南优质稻适应低光强生态型、中等直链淀粉含量缺乏、早晚稻品质变化较大等特点，本团队筛选出性状互补的美国品种 Lemont；1998 年以水稻核心种质丰澳占为轮回亲本，通过连续回交育种法，以广东核心种质丰澳占为轮回亲本，应用连续回交育种法成功引入 Lemont 中等直链淀粉含量、品质稳定、适应高光强生态型优良种质，育成新一代广东丝苗型优质稻新品种美香占 2 号，连续获三届全国优质稻品种食味品质鉴评金奖。基于美香占 2 号大多数综合优良品质参数，广东确定美香占 2 号为广东丝苗米标准品种和区试对照种，广东丝苗米产业联盟新建了广东丝苗米品种标准和广东丝苗米产品标准。迄今美香占 2 号通过了广东和云南省品种审定，江西、广西、海南、湖南、陕西等省引种许可，越南大面积种植，老挝、泰国、莫桑比克等国正在积极引进利用，享誉全球。截至 2019 年，育成美香占 2 号衍生品种 7 个（表 6）。

以我国最大推广面积优质稻品种黄华占为对照，本团队从基因组、转录组、淀粉、脂肪酸和蛋白质合成、代谢组学系统分析了美香占 2 号的

表 6　华占核心种质理想基因系统构建过程

Table 6　Construction of ideal gene system of Huazhan core germplasms

年份 Year	季别 Season	组合 Combination	核心种质 Core germplasma	育成时间 breeding time
1982 年	晚季	三青矮 2 号 ×（青油占 / 矮家伙）$_{F3}$	一级核心种质 青六矮 1 号	1986 年晚季
1987 年	早季	青六矮 1 号 × 特青	二级核心种质 丰青矮	1990 年晚季
1990 年	晚季	长丝占 × 丰青矮	三级核心种质 丰矮占 1 号	1993 年早季
1994 年	早季	丰矮占 1 号 ×28 占	四级核心种质 丰八占 1 号	1996 年晚季
1996 年	晚季	丰八占 1 号 × 粤新占 5 号	五级核心种质 五丰占 2 号	1999 年早季
2000 年	早季	（广青占 / 丰八占）× 丰华占	六级核心种质 五山油占（华占）	2002 年晚季
2002 年	晚季	茉莉丝苗 × 五山油占	七级核心种质 五山丝苗	2006 年晚季
2006 年	晚季	（黄华占/丰粤占）× 五山丝苗	八级核心种质 五山软占	2010 年晚季
2010 年	晚季	五山华占 × 黄软秀占	九级核心种质 五山软占	2014 年晚季
2013 年	晚季	黄广丝苗 × 五山软占	十级核心种质 五广丝苗	2018 年晚季
2013 年	晚季	黄广软占 × 黄广华占 1 号	十一级核心种质 双黄占	2018 年晚季

光合作用和品质差异，诠析了美香占 2 号优良食味品质的遗传和生化机理，为中国丝苗稻米品牌创新提供了原动力。基于上述基础研究，本团队创造种业和米业公司主导、政府和科研部门支撑的品牌创新模式，美香占 2 号自 2015 年起连续 6 年雄居广东省水稻推广面积首位，其中 2018 年起进入高速发展阶段，2018、2019 年成为广东省最受欢迎的农业主导品种，2018、2019、2020 年推广面积均超出广东省第二大推广面积品种 1 倍以上，遥遥领先于其他水稻品种（组合），成为众多广东丝苗米产业园主要品种，带动了广东乃至南方稻区优质稻产业，迄今南方稻区累计种植面积 138.4 万 hm^2，农民增收 31.98 亿元，米业公司新增利税 219.73 亿元，获 2020 年广东省科技进步奖一等奖。

3.3　丰八占衍生系列新品种作为杂交稻恢复系的应用

丰八占是广东优质稻育种史上首个碾米品质、外观品质和蒸煮品质优良、抗病、高产新品种，获 2008 年广东省科学技术奖一等奖，其衍生系列品种有黄华占、黄莉占、黄粤丝苗、黄广油占、华占和五山丝苗等（表 6、图 3）。其中华占是我国配组组合最多恢复系，累计推广面积超 6 667 万 hm^2。2018—2020 年华占和五山丝苗配组的杂交稻组合推广面积占我国杂交稻推广面积的前 3 位。

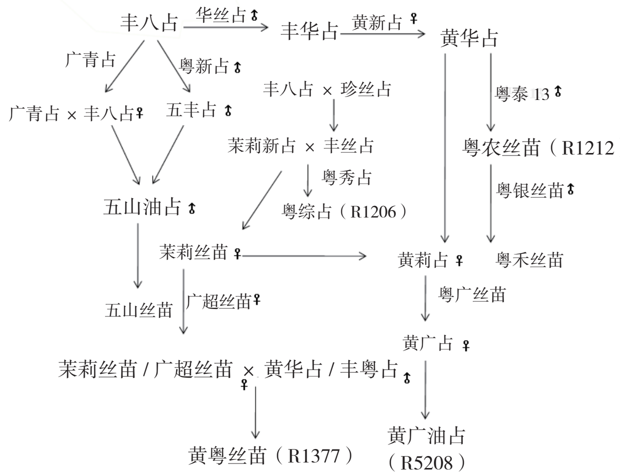

图 3　丰八占衍生的恢复系系谱

Fig. 3　Pedigree of restorer lines derived from Fengbazhan

4　结语与展望

从 20 世纪 80 年代开始，本团队以一级核心种质青六矮 1 号为起点，通过核心种质逐步融合升级，实现水稻育种学与水稻种质资源学无缝对接；通过全基因组分子育种和核心种质理想模式实现经验育种技术和先进适用技术无缝对接，提高育种效率；通过前景选择与背景选择统筹实现理想基因系统的整合完善，显著提高新品种科技含量。创建了较为完整的青六矮 1 号 – 丰青矮 – 丰矮占 1 号 – 丰八占 – 丰华占 – 黄华占 – 黄莉占 – 黄广占 – 黄广油占 – 黄广华占 1 号 – 双黄占育种材料体系、青六矮 1 号 – 丰青矮 – 丰澳占 – 美香占 2 号 – 美丝占 – 美油占 – 美油占 / 美雅占 – 五美占 – 黄广美占育种材料体系、青六矮 1 号 – 丰青矮 – 丰矮占 1 号 – 丰八占 – 五丰占 2 号 – 五山油占 – 五山丝苗 – 五山华占 – 五山软占 – 五广丝苗育种材料体系，迄今育成审定优质稻新品种 90 多个，合作育成优质杂交稻组合 300 多个。通过优质常规稻和优质恢复系实现优质稻大规模推广应用，开创了我国籼稻全面优质化新格局。实践证明，水稻育种过程中核心种质能够沿着育种

目标置换和扩充基因群体，兼容升级直至全面符合育种目标，趋向理想基因系统，育成突破性大品种。

21 世纪是科学技术飞速发展的时代，基因编辑技术、合成生物学、多组学平台建设和应用及即将涌现的原创性、颠覆性技术将彻底改变我们的科研和思维方式。中国近代水稻遗传育种学人从丁颖先生开始，务实、开拓，代代相传，发奋努力，不论是水稻育种工作者，还是水稻分子生物学人，均取得了举世瞩目的科技成就，积累了领先于国际的厚实基础。需要正视的是，中国产学研的结合还不尽人意，产业对科技创新的尊重和应用远远不够，知识产权保护乏力。中国水稻人需加倍努力，提出和践行有效方略。

参考文献（References）：

[1] 林世成, 闵绍楷 . 中国水稻品种及其系谱［M］. 北京 : 中国农业科学技术出版社, 1999.
LIN S C,MIN S K. Rice varieties and their genealogy in China［M］. Beijing: Scientific and Techinical Publishing House of China,1999.

[2] 黄耀祥 . 水稻生态育种科学体系的构建和新进展——两源并举 “超优势稻” 的选育［J］. 世界科技研究与发展, 2003,25（2）:1–8.
HUANG Y X.Creation and new development of the rice ecological breeding system, and emphases on two sources, supper ascendancy rice breeding［J］. *World Sci-Tech R&D*, 2003,25（2）:1–8.

[3] 周少川, 柯苇, 陈建伟, 陈国荣, 李宏 . 谈育种学中的优良种质及其衍生系统［J］. 广东农业科学, 1998（S）:1–5.
ZHOU S C,KE W,CHEN J W,CHEN G R,LI H.Discussion on fine germplasm and its derivation system in breeding［J］. *Guangdong Agricultural Science*, 1998（S）:1–5.

[4] 周少川, 李宏, 李康活 . 水稻核心种质育种体系的构建［J］. 沈阳农业大学学报, 2007,38（5）:688–694.
ZHOU S C,LI H, LI K H. Construction of core germplasm breeding system［J］. *Journal of Shenyang Agricultural Science*, 2007,38（5）:688–694.

[5] 周少川, 李宏, 黄道强, 卢德城 . 水稻核心种质育种［J］. 科技导报, 2005,23（11）:23–26.
ZHOU S C, LI H,HUNAG D Q, LU D C.Rice core germplasm breeding［J］. *Science and Technology Review*, 2005,23（11）:23–26.

[6] 周少川, 李宏, 黄道强, 卢德城, 赖穗春, 周德贵, 王志东, 付崇允, 李康活 . 优质稻核心种质黄华占及其衍生系统理想模式研究［J］. 中国水稻科学, 2009,23（2）:153–159.
ZHOU S C,LI H,HUNAG D Q,LU D C,LAI S C,ZHOU D G,WANG Z D,FU C Y,LI K H.Ideal type of rice core germplasm Huanghuazhan and its derivatives with good grain quality［J］. *Chinese Journal of Rice Science*, 2009,23（2）:153–159.

[7] 周少川, 李宏, 黄道强, 卢德城, 赖穗春, 周德贵, 王志东, 缪若维, 李康活 . 水稻核心种质的育种成效［J］. 中国水稻科学, 2008,22（1）:51–56. DOI:10.16819/J.1001–7216.2008.01.009.
ZHOU S C,LI H,HUANG D Q,LU D C,LAI S C,ZHOU D G,WANG Z D,MIAO R W, LI K H.Practice and achievment of rice core germplasm breeding［J］. *Chinese Journal of Rice Science*, 2008,22（1）:51–56. DOI:10.16819/J.1001–7216.2008.01.009.

[8] ZHOU D G,CHEN W, LIN Z C,CHEN H D,WANG C R, LI H,YU R B, ZHANG F Y, ZHEN G,YI J L,LI K H, LIU Y G, TERZAGHI W L,TANG X Y, HE H, ZHOU S C,DENG X W. Pedigree-based analysis of derivation of genome segments of an elite rice reveals key regions during its breeding［J］. *Plant Biotechnology Journal*, 2016,14（2）:638–648.

[9] CHEN S X, LIN Z C, ZHOU D G,WANG C R, LI H, YU R B, DENG H C,TANG X Y, ZHOU S C,DENG X W, HE H.Genome-wide study of an elite rice pedigree reveals a complex history of genetic architecture for breeding improvement［J］. *Scientific Reports*, 2017,7:45685.

[10] GONG R,HUANG D Q,CHEN Y B,LI H,WANG Z D,ZHOU D G,ZHAO L,PAN Y Y,CHANG Y X,XI Y,WANG C R,ZHOU S C.Comparative metabolomics analysis reveals the variations of eating quality among three high-quality rice cultivars［J］. *Molecular Breeding*, 2020,40:112.

[11] 王志东, 陈宜波, 龚蓉, 周少川, 王重荣, 李宏, 黄道强, 周德贵, 赵雷, 潘阳阳, 杨义强, 李晓芳 . 优质籼稻剑叶 SPAD 值与稻米品质相关性研究［J］. 中国水稻科学, 2021,35（1）: 89–97. DOI:10.16819/j.1001–7216.2021.0508.
WANG Z D,CHEN Y B,GONG R,ZHOU S C,WANG C R,LI H, HUANG D Q,ZHOU D G,ZHAO L,PANG Y Y,YANG Y Q,LI X F.Correlation between SPAD value of flag leaf and rice quality of high quality indic rice［J］. *Chinese Journal of Rice Science*, 2021,35（1）:89–97. DOI:10.16819/j.1001–7216.2021.0508.

[12] 叶子龙, 周少川 . 水稻高密度遗传图谱的构建与重要农艺性状的 QTL 定位［D］. 武汉 : 华中农业大学, 2021
YE Z L,ZHOU S C.Construction of rice genentic map with high density and QTL mapping for important agrinomic traits［D］. Wuhan:Huazhong Agricultural University Master’s thesis, 2021.

[13] 周少川, 王重荣, 赵雷, 李宏, 黄道强, 王志东, 陈宜波, 吴玉坤 . 丰八占衍生系列优质杂交稻恢复系的系谱和育种利用［J］. 杂交水稻, 2019,34（1）:6–13. DIO:10.16267/j.cnki.1005–3956.20181112.293.
ZHOU S C,WANG C R,ZHAO L,LI H, HUANG D Q,WANG Z D,CHEN Y B,WU Y K.Pedigree and breeding utilization of a series of good quality restorer derived from Fengbazhan in hybrid［J］. *Hybrid Rice*, 2019,34（1）:6–13. DIO:10.16267/j.cnki.1005–3956.20181112.293.

（责任编辑　白雪娜）