

杂交粳稻

理

论

与

实

践

袁隆平
邓华凤

顾问
主编



中国农业出版社

杂交水稻

理论与实践

袁隆平 顾问

邓华凤 主编

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

杂交粳稻理论与实践/邓华凤主编. —北京: 中国农业出版社, 2006. 6

ISBN 7-109-10932-1

I. 杂... II. 邓... III. 粳稻—杂交育种—文集

IV. S511.203.51-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 060267 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)

(邮政编码 100026)

出版人: 傅玉祥

责任编辑 黄 宇 张洪光 舒 薇

中国农业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

2006 年 7 月第 1 版 2006 年 7 月北京第 1 次印刷

开本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 19.25

字数: 437 千字 印数: 1~500 册

定价: 78.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

顾 问 袁隆平

主 编 邓华凤

副主编 荆彦辉 杨 飞

编 委 (按姓氏汉语拼音排序)

蔡 伟	陈益海	迟克生	褚庆全
崔艳红	邓华凤	邓心安	东 丽
杜士云	端木银熙	高风华	郝宪彬
洪德林	洪立芳	华泽田	黄大军
吉健安	荆彦辉	李成荃	李丽文
李阳生	林志清	刘 超	刘守伦
刘 炜	刘学军	马洪文	马荣荣
南钟浩	倪林娟	秦德荣	单文忠
沈 明	寿建尧	孙海波	谭学林
汤述翥	王健康	王建林	王守海
文建成	谢 辉	杨 飞	杨振玉
袁隆平	袁 勤	张爱国	张时龙
张忠旭	邹吉承		

序

中国杂交粳稻经过 30 多年的研究，已取得突出成绩，具有坚实的基础，在杂种优势、品质、抗性以及适应性问题上已经实现了关键技术的突破，杂交粳稻的发展不存在重大的技术障碍。尽管如此，到目前为止，杂交粳稻种植面积仍不到 400 万亩*，仅占粳稻种植面积的 3% 左右，而杂交籼稻已约占籼稻种植总面积的 80%，相比之下杂交粳稻还有很大的发展空间，如果杂交粳稻年种植面积达到 6 000 万亩，实现种植面积从 3% 扩大到 50% 的跨越，就有希望每年增产 35 亿千克优质稻谷，为社会主义新农村建设和农民增收作出贡献。

为了探讨杂交粳稻的发展方向和技术路线，尽快实现上述发展目标，我们于 2004 年 4 月和 2005 年 9 月分别在美丽的海滨城市三亚和天津召开了第一届和第二届“中国杂交粳稻科技创新会议”，各位代表就杂交粳稻的发展进行了深入的交流和探讨，取得丰硕的成果，促进了杂交粳稻的快速发展。与会专家认为，杂交粳稻在未来的研究和发展中，应该借鉴杂交籼稻的发展思路，通过增加投入，联合攻关，加强基础理论研究，选育精品组合，建立配套应用技术和推广体系，扶持龙头种业公司，促进杂交粳稻种子产业化等措施，到 2010 年实现第一届“中国杂交粳稻科技创新会议”提出的年推广杂交粳稻 3 000 万亩，种植面积由 3% 到 30% 的飞跃，年增产稻谷 30 亿千克的目标是完全可能的。

会议还受到了全国各地同行的积极响应和广泛关注，先后共

注：亩为非法定计量单位，1 亩=667m²。

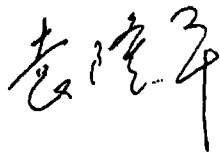
收到与杂交水稻相关的各类论文 100 多篇。经过有关专家评审和筛选,共收编 56 篇论文正式出版。这些论文内容丰富,各具特色,水平较高,涉及杂交水稻的方方面面,包括专题综述、基础研究、育种实践、繁殖制种、栽培技术以及相关研究等,不仅对杂交水稻的发展具有重要意义,而且对广大农业科技工作者和农业院校的师生都有一定的参考价值。在此向各位作者表示衷心的感谢。

论文的收集和编辑工作由国家杂交水稻工程技术研究中心天津分中心承担完成,得到了《杂交水稻》杂志社的友情帮助。会议的召开和论文集的出版还得到了国家发改委、科技部、农业部、天津市和湖南省等有关单位的大力支持,在此,我们表示衷心感谢!在论文编辑过程中,由于水平有限,错误和不当之处,恳请谅解、批评和指正。

国家杂交水稻工程技术研究中心天津分中心

天津市水稻技术工程中心

天津天隆农业科技有限公司



2006 年 3 月

目 录

序

专 题 综 述

超级杂交水稻育种研究的进展	1
中国杂交粳稻研究现状与对策	4
我国杂交粳稻的发展及其技术策略	12
中国北方杂交粳稻发展现状与前景	15
北方超级杂交粳稻育种进展	22
吉林省超级杂交水稻育种的研究进展	26
天津市杂交粳稻发展的历史、现状及展望	30
安徽省杂交粳稻研究回顾与展望	39
滇型杂交水稻的发展	47
贵州杂交粳稻育种现状与研究方向	52
宁夏杂交粳稻育种现状及展望	56
浅谈新疆粳稻优质、超高产杂种优势利用	59
应用生物技术加速杂交粳稻的发展	67

基 础 研 究

同核异质粳稻不育系应用特性的比较研究	75
核质互作不育和光敏核不育聚合的粳稻不育系选育	84
粳稻杂种一代穗长和每穗颖花数优势的遗传分析	92
江苏省江淮稻区杂交粳稻组合优势比较分析	98
水稻滇一型不育系和保持系花药 mRNA 表达差异的研究	104
粳型水稻不同生态型间的遗传差异及其与杂种优势的关系	108
上海地区杂交粳稻米品质性状的遗传分析	115

温度对三系 BT 型粳稻不育系育性的影响	123
野败型粳三系配套及遗传机理的研究	126
滇型杂交粳稻及其亲本稻米铁、锌元素含量的分析	130

育 种 实 践

北方杂交粳稻恢复系分子育种材料构建的研究进展	139
北方杂交粳稻品质现状分析与优质育种技术路线探讨	145
甬优系列杂交水稻组合的选育和推广	155
常熟农科所三系杂交晚粳稻育种进展	159
优质杂交粳稻新组合辽优 2006 的选育与应用	165
北方杂交粳稻亲本选择的研究	170
北方杂交粳稻不育系选育和提纯	177
从 C418 的育成看北方杂交粳稻“水涨船高”形势	181
杂交粳稻新组合“申优 4 号”选育与应用	184
杂交早稻新组合辽优 14 的选育	188
优质抗病高原杂交粳稻滇杂 31 的选育与应用研究	194

繁 殖 制 种

杂交粳稻高纯度高产高效制种技术体系研究	198
强优势杂交中粳 9 优 418 及其高产高效栽培制种技术体系研究	203
优质三系杂交粳稻津优 29 制种技术	208
优质杂交粳稻 86 优 242 的选育和应用	211
杂交粳稻亲本种子的提纯技术	213
不同插植密度与插植苗数对辽优 0201 制种产量性状的影响研究	218
杂交早粳辽优 4418 的特征特性及栽培制种技术	224

栽 培 技 术

超高产杂交粳稻 69 优 8 号的特征特性及应用技术	227
----------------------------------	-----

杂交粳稻直播栽培技术研究	230
施肥和密度对杂交粳稻产量构成的影响	234
优质杂粳常优 1 号特性及高产栽培	237
超级杂交粳稻新组合的生物学特性及其高产栽培技术关键	239
杂交粳稻旱种高产节水栽培技术.....	242
超级杂交稻辽优 1518 在盘锦盐碱稻区的耐盐栽培技术.....	246

相 关

研 究

加快杂交粳稻种子产业化步伐，实现杂交粳稻的跨越式发展	250
水陆稻杂交种——新型节水稻品种的选育研究	255
rip、chi 及 DREB1A 多价基因植物表达载体的构建	257
杂交水稻开发利用与前景	264
RNAi 技术在植物功能基因组学中的研究进展	267
生物技术育种中农杆菌介导的水稻遗传转化	275
水稻数量性状定位研究进展	279
基于生物经济的新型农业体系研究	290

超级杂交水稻育种研究的进展

袁隆平

(国家杂交水稻工程技术研究中心 湖南 长沙 410125)

1 成绩与进展

目前中国人口接近 13 亿,人均可耕地不到 0.1hm^2 ,预计到 2030 年人口将增至 16 亿,人均可耕地会减少到 0.07hm^2 ,面对人口增长压力和耕地减少的严峻形势,为在新世纪让所有中国人吃饱吃好,中国农业部 1996 年立项了超级水稻育种计划,其中超级杂交稻的产量指标如下:

中国超级水稻产量指标

阶 段	杂 交 水 稻 [*]			增长率
	早季	晚季	单季	
1996 年水平	7.50	7.50	8.25	0
第一阶段 1996—2000 年	9.75	9.75	10.50	>20%
第二阶段 2001—2005 年	11.25	11.25	12.00	>40%

注:※连续两年在两个点,每点 6.7hm^2 的平均单产 (t/hm^2)。

通过形态改良及利用籼粳亚种间杂种优势,至 2000 年,已育成几个超级杂交稻先锋组合,达到了第一阶段单季水稻产量标准。其中,以两优培九表现最好,2000 年有 20 多个示范点,每点 6.7hm^2 (100 亩^{*}) 或 67hm^2 (1 000 亩),其平均产量超过 $10.5\text{t}/\text{hm}^2$ 。该组合近几年的推广面积在 120 万~150 万 hm^2 左右,平均每公顷达 8.3t,而同期全国水稻的平均产量是 $6.3\text{t}/\text{hm}^2$,杂交稻为 $7\text{t}/\text{hm}^2$ 。

1999 年在云南永胜县的试验田 (720m^2) 一个苗头组合 P64s/E32 创造了 $17.1\text{t}/\text{hm}^2$ 的水稻超高产记录。

从 2001 年起开展了第二阶段的超级杂交水稻选育,现已取得突破,且提前一年实现了第二期的单季稻目标。

根据 2001 年的进展,2002 年在多个示范点 (每点 $7\sim 8\text{hm}^2$) 安排了一些有希望的新

注:亩为非法定计量单位,1 亩= 0.067hm^2 。

组合示范,其中最好的是 P88S/0293,2002 年在湖南龙山县平均产量达 $12.3\text{t}/\text{hm}^2$ 。2003 年该组合在海南省三亚市、澄迈县和湖南省汝城、隆回、中方县共 5 个(百亩)示范片,单产每公顷过了 12t,2004 年共有 7 个点,每 667m^2 产 800kg 以上,其中汝城、隆回、中方三县的 66.7km^2 (百亩)片是连续两年达到第二期超级杂交稻的指标。

同时,在选育超级杂交晚稻上也有重大进展,一新育成生长期短的三系杂交稻金 23A/Q611,作双季晚稻栽培,2003 年在浏阳、2004 年在浏阳和洪江分别安排了一个 66.7km^2 (百亩)示范片,其平均产量在 $10\text{t}/\text{hm}^2$ 左右,比对照 V 优 6 号增产近 3 成。

2 技术路线

育种实践表明,迄今为止,通过育种提高作物产量,只有两条有效途径:一是形态改良,二是杂种优势利用。单纯的形态改良,潜力有限;杂种优势不与形态改良结合,效果较差。其他育种途径和技术,包括基因工程在内的高技术,最终都必须落实到优良的形态和强大的杂种优势上,否则,就不会对提高产量有贡献。但是,另一方面,育种进一步向更高层次的发展,又必须依靠生物技术的进步。

2.1 形态改良

优良株型是高产的基础。自从 1968 年 Dr. Donald 提出理想株型概念后,很多水稻育种家特别注意这一重要课题并设想了多种高产水稻模型。其中著名的是国际水稻研究所 Dr. Khush 提出的“新株型”稻,其主要特征是:①大穗,每穗 250 粒;②分蘖少,每株 3~4 个有效分蘖;③短而粗壮的秆。这种模型是否高产,还有待实践证明。

根据我们的研究,特别是受超高产组合 P64S/E32(其产量高达 $17.1\text{t}/\text{hm}^2$)的显著特征启发,发现超高产品种有如下形态特征。

2.1.1 高冠层 上三叶叶片应长、直、窄、凹、厚。长而直的叶子不仅叶面积大而且能两面受光又互不遮荫,因此能更有效地利用光能;窄叶所占的空间面积小,能增加有效的叶面积指数;凹字形可使叶片坚挺不披;厚叶光合作用高且不易早衰。总之,具有这种形态特征的水稻品种,才能有最大的有效叶面积指数和光合功能,为超高产提供充足的光合产物即有机源。

2.1.2 矮穗层 成熟期稻穗顶部离地面仅 60~70cm,这种结构由于重心下降,可使植株高度抗倒伏。抗倒是培育超高产水稻必备特征之一。

2.1.3 中大穗 每穗谷重约 5g,每平方米约 300 穗。理论上,其产量潜力为 $15\text{t}/\text{hm}^2$ 。

稻谷产量=生物学产量×收获指数。现行的矮秆品种,收获指数(HI)已很高(>0.5),进一步提高收获指数的潜力已相当有限,因此,主要应依赖提高生物量才能进一步提高稻谷产量。

从形态学观点来看,提高植株高度是提高生物量有效而可行的方法。然而这种方法会引起倒伏。为解决这一问题,很多育种家正试图使茎秆更粗壮,但此举会导致收获指数下降,因此,很难达到超高产。而上述由叶片组成的高叶冠层植株模型能同时将高生物学产量、高收获指数和高度抗倒伏三者较好地统一起来,从而能实现超高产。

2.2 提高杂种优势水平

水稻的杂种优势强弱有如下的总趋势：籼粳交>籼爪交>粳爪交>籼籼交>粳粳交。依据我们的研究，籼粳杂交稻库大源足。其产量潜力比现行在生产上应用的品种间杂交稻可高30%以上。但是，要利用籼粳杂种优势的难度很大，最主要的是籼稻和粳稻为不同亚种，亲缘关系较远，二者之间存在不亲和性，致使籼粳杂种的受精结实不正常，一般结实仅30%左右。经过近10年的努力，我们在利用籼粳杂种优势育种上终于取得成功，育成一批结实率正常的具有超高产潜力的籼粳杂交稻组合。主要经验，一是利用广亲和基因以克服籼粳稻之间的不亲和性；二是用具有混合亲缘的中间型材料而不是用典型的籼、粳品种作亲本，以协调其他方面的矛盾。

2.2.1 借助分子生物学技术 这是选育超级杂交稻的另一种具有巨大潜力的途径。

2.2.1.1 利用野生稻中的有利基因 基于分子技术和田间试验，鉴别出两个源于普通野生稻的增产QTL位点，每个QTL位点具有比高产的对照杂交组合增产18%的效应。通过分子标记辅助选择和田间选择，已育成一个带有一个上述QTL位点的优良的恢复系(Q611)。它的杂交种J23A/Q611，如前所述，作晚稻试验示范，比杂交稻对照增产极显著，示范田的产量每公顷为10t左右。

2.2.1.2 利用稗草的DNA创造水稻新资源 通过穗颈注射法将稗草的总DNA导入恢复系(R207)，后代产生变异，从这些变异株中选育出新的优良、稳定的恢复系RB207-1，它具有如下农艺特征。

①穗大粒多；

②粒重比原始R207大大提高。尤其是杂交种GDS/RB207-1，株型良好，杂种优势强，在海拔较高的山区(400~800m)表现特别好，2005年有三个试验点，小面积(1334~2001m²)每667m²产量都在900kg以上。经分子检测，RB207-1含有稗草DNA的片断。

3 前景

到2005年第二阶段超级杂交稻产量指标(12t/hm²)可以实现。达到这一目标后，以年种植面积1300万hm²，每公顷增产2.25t计，年可增加3000万t稻谷，可多养活7500万人口。

科技的进步永无止境。水稻还有很大的产量潜力，可以由先进的生物技术来挖掘，令人激动的是源于玉米的C₄基因已被成功克隆并正在导入超级杂交稻的亲本。理论上C₄基因的光合效率比水稻的C₃基因高30%，初步测定，有个别含有C₄基因的亲本植株，其叶片的光合效率比对照高10%~30%。

基于以上各项研究进展，提出了第三阶段超级杂交稻育种计划，即到2010年第三期单季超级杂交稻大面积示范的产量指标是13.5t/hm²。

中国杂交粳稻研究现状与对策

邓华凤^{1,2,3} 何强² 舒服² 张武汉² 杨飞³ 荆彦辉³ 东丽³ 谢辉³

(1 湖南农业大学 湖南 长沙 410125; 2 国家杂交水稻工程技术研究中心
湖南 长沙 410125; 3 天津市水稻技术工程中心 天津 300457)

摘 要: 系统回顾了中国杂交粳稻发展的历程和取得的成就, 概括了其发展现状及存在的问题, 分析了这些问题产生的原因, 讨论了解决这些问题的方法和技术策略。

关键词: 杂交粳稻 育种 亚种间杂种优势 发展对策

中国杂交粳稻的发展已取得巨大成就, 然而杂交粳稻的发展却十分缓慢。目前, 中国的水稻种植面积为 3 067 万 hm^2 , 主要分布在长江流域、华南地区、西南地区、淮河流域和北方地区。其中粳稻种植面积 828 万 hm^2 , 以常规粳稻为主, 杂交粳稻所占比例约为 3% (表 1), 而杂交籼稻的种植面积已达 1 733 万 hm^2 , 占中国籼稻种植面积的 80%, 占中国水稻种植面积的一半以上。相比之下, 杂交粳稻还有很大的发展空间, 如果杂交粳稻年种植面积达到 400 万 hm^2 , 种植面积从 3% 扩大到 50%, 就有希望每年增产 35 亿 kg 优质稻谷, 实现中国杂交粳稻的跨越式发展, 也将实现粳稻的第二次科技革命, 为保障中国的粮食安全和解决“三农”问题做出新的贡献。

表 1 中国粳稻的种植分布概况

区 划	主 要 分 布 省 份	生态类型	粳稻面积 (10^4hm^2)	杂粳面积 (10^4hm^2)
华中、华东	苏南、皖南、沪、浙、鄂、湘北	晚粳	234	12
华北	京、津、冀、鲁、豫、苏北、皖北	中粳	200	10
东北	黑、吉、辽	早粳	300	1
西南	滇、黔	中粳	40	2
华南	台	中粳	34	
西北	疆、甘、宁、陕	早粳	20	

1 杂交粳稻育种研究的历史回顾

杂交粳稻的研究, 国际上最早报道的是 1950 年日本学者胜尾清用中国红芒野生稻与日本粳稻藤坂 5 号杂交育成的藤坂 5 号不育系。1966 年日本学者新城长友育成了具有钦苏拉包罗 II 细胞质的包台型 (BT 型) 台中 65 不育系, 绝大部分粳稻品种对它具有保持

能力,但恢复系难于寻找。随后,美国、菲律宾等国均做过粳稻不育系的研究,有的虽实现了粳三系配套,但因没有产量优势未能在生产上应用。中国杂交粳稻从类型上看,有三系杂交粳稻、两系杂交粳稻;从不育系的细胞质类型看,有BT型、滇型和野败型等。

1.1 三系杂交粳稻育种研究

1.1.1 滇型杂交粳稻研究 中国杂交粳稻研究最早开始于1965年。当时,云南农业科学院在种植台北8号的稻田中发现滇型细胞质的天然不育株,于1969年育成滇一型红帽缨粳稻不育系,这是中国最早选育的粳型细胞质雄性不育系。这种滇型不育系发现最早,但在生产上应用较迟。近几年由滇一型不育系转育成的滇型系列不育系选配的三系杂交粳稻组合是云南传统粳稻生产区独具特色的高原三系杂交粳稻。

1.1.2 BT型杂交粳稻研究 BT型不育系是中国杂交粳稻应用最广最重要的粳稻三系不育系。从目前中国的杂交粳稻生态区看,无论是北方的杂交中粳稻,还是南方长江流域的杂交中、晚粳稻,其不育系细胞质类型绝大部分是BT型,细胞质源均来自台中65不育系。1972年辽宁省农业科学院、中国农业科学院从日本引进BT型台中65不育系,依托北方丰富的常规稻品种资源,用生产潜力大、株型好的主栽常规品种对该不育系大量改造和转育,先后转育成一批BT型粳稻不育系。BT型不育系在早期经广泛测恢,均未能找到理想的粳稻恢复系,其恢复基因极其匮乏,当时认为粳稻中没有可供利用的恢复基因。因此,粳型恢复系的选育便成为粳型三系配套的关键。

1975年辽宁省农业科学院采用“籼粳架桥”人工制恢技术,育成具有 $1/4$ 籼核成分的高配合力粳稻恢复系C57,并与黎明A配组育成中国第一个大面积推广的强优势杂交粳稻组合黎优57,实现了粳型杂交水稻的三系配套。随后,北方各省、直辖市利用C57及其衍生材料,育成一大批粳型恢复系,并与BT型不育系配组投入生产应用,使北方水稻的单产上了一个新台阶。但在20世纪80年代末,中国杂交粳稻的发展跌入了低谷。“九五”期间,通过引进外源广亲和基因以及通过“籼粳架桥”技术加强水稻有利基因的利用,获得了特殊亲和粳型恢复系C418,育成了一批高产、优质、高抗的杂交粳稻新组合,使中国BT型胞质不育杂交粳稻得到进一步发展。

1.1.3 野败型杂交粳稻研究 在20世纪70年代,中国多家研究单位曾开展野败粳型三系育种工作,但由于找不到恢复系,不能实现三系配套,以致被人们认为野败粳三系是水稻育种界的哥德巴赫猜想。尽管如此,也有学者在这方面取得了一定的进展,如育成了农虎26A、珍5A等粳稻不育系。

1.2 两系杂交粳稻育种研究

中国的两系杂交粳稻育种开始于1973年,于1985年育成世界上第一个粳型光温敏核不育系,此后,两系杂交水稻经过中国科技工作者20多年的探索和研究,取得了巨大的成就。目前中国粳型不育系的核不育基因主要来自于农垦58S,太湖流域、长江流域的两系杂交粳稻发展较快。自20世纪90年代末湖北率先选育出实用粳型两系不育系N5088S至今,南方稻区先后选育了一批粳型两系不育系(如7001S),并配制许多组合,这些组合在长江流域试种及生产示范均表现出高产、优质、多抗等优点。近年来,北方杂交粳稻研究中心利用两系法成功克服了亚种间杂种结实率偏低的缺点。“十五”期间,安徽省农业科学院创造的一种新型AS不育系(用BT型不育系为细胞质供体,用含有雄性保持基

因的粳型光敏不育系作为保持系，异交繁殖而成)，既避免了 BT 型不育系高温自交结实，又有效防止了光温敏核不育系遇低温自交结实导致制种失败的风险。

2 杂交粳稻育种取得的成就

目前中国的粳稻主要分布在东北、华东、华中、西北、西南等地区。杂交粳稻从生态区看，有北方的杂交中粳稻、南方的杂交晚粳稻和杂交中粳稻等。杂交粳稻在地区间发展很不平衡（见表 1）。南方（华东、华中）杂交粳稻区近年来推广速度较快，面积逐年扩大，主要分布在太湖流域，新组合不断出现。北方杂交粳稻区主要是分布在辽宁、华北等地。近几年，杂交粳稻的种植面积有所上升，到 2004 年，中国杂交粳稻的种植面积约 25 万 hm^2 。

2.1 三系杂交粳稻育种成就

云南最先育成粳型细胞质雄性不育系以后，近几年云南的高原杂交粳稻育种取得了很大的进展。选育的滇型不育系有滇榆 1 号 A、滇寻 1 号 A、黎榆 A、榆密 15A 等，选配的三系杂交粳稻组合有榆杂 29、寻杂 36、滇杂 32、滇杂 31 等。滇型杂交粳稻曾多次打破世界粳稻单产记录，其高产记录达到 $16\,628\text{kg}/\text{hm}^2$ 。

BT 型不育系是中国杂交粳稻育种应用最广的粳型三系不育系。在 1972 年引进该类型不育细胞质供体后，无论是在北方稻区还是在南方稻区，都利用其成功选育或转育了大量粳型三系不育系，如 20 世纪 80 年代湖南的黎明 A、辽宁的秀岭 A、中 7941A、秋光 A、41A，90 年代的 326A、辽盐 28A、屈锦 A，江苏早期的六千辛 A、泗稻 8 号 A，近几年的 863A、武运粳 7 号 A 等，上海的寒丰 A、秀水 04A、品 A，安徽的当选晚 2A、80-4A、双九 A，北京的京 6A、中作 59A，天津的早花二 A，浙江的宁 67A、甬粳 2 号 A，辽宁的辽 30A、辽 02A、辽优 105A 等。利用“籼粳架桥”技术先后获得高配合力粳稻恢复系 C57 和特殊亲和粳型恢复系 C418 后，用其转育成一批适宜于各稻作区的恢复系，并成功选育出大量组合投入生产应用，使中国成为世界上第一个成功实现粳稻三系配套，并在生产上大面积推广应用的地区。如黎优 57、秀优 57、津粳杂 2 号、津粳杂 4 号、津优 9603、9 优 418、屈优 418、常优 1 号、寒优湘晴、寒优 1027、8 优 161、申优 1 号、辽优 3225、80 优 9 号、86 优 8 号、泗优 418、泗优 9022、泗优 9083、甬优 3 号、双优 3402 等，其中部分组合的米质达国标优质稻谷 2 级以上，产量较常规粳稻增产 20% 左右。

2.2 两系杂交粳稻育种成就

北方最早报道的两系粳型不育系是通过辽宁省技术鉴定的 GB028S，育性转换为起点温度在 22°C 左右。在 20 世纪 90 年代中期育成北方实用的两用核不育系 108S。长江流域的两系粳稻不育系发展较快，湖北培育出实用粳型两系不育系 N5088S、31111S、31301S，江苏培育了培矮 64S 的改良系，安徽育成 7001S、2304S、8087S、3502S，浙江选育了 MPS 等。这些不育系组配了一批两系杂交粳稻组合如 70 优 9 号、70 优 4 号、70 优双九、鄂粳杂 1 号、鄂粳杂 2 号、两优 8828、两优 122、两优 276、两优信粳 1 号、两优信粳 2 号等。应用广亲和籼型光温敏不育系与偏粳型广亲和恢复系配制的新组合培矮 64S/C8420、培矮 64S/C418 在北方试种表现出较大的增产潜力。

2.3 现代分子技术在杂交粳稻育种上的应用

近几年,利用现代分子育种技术进行杂交粳稻亲本材料的创新也取得较大的进展。如北方将抗除草剂 Bar 基因转移到粳稻恢复系中,选育出抗除草剂稳定、恢复度高的品系,这对于解决杂交粳稻种子纯度问题具有重要意义。将水稻抗白叶枯病基因 Xa21 转入到粳稻恢复系 C418 中,育成的具有 Xa21 抗性表达的转基因恢复系 C418 已进入小区制种。安徽利用转基因技术成功将玉米高光效 PEPC 基因转入粳稻三系、两系亲本中。

3 杂交粳稻育种存在的问题

3.1 杂种优势问题

中国杂交粳稻的增产优势一般可达 20% 左右,而目前实际应用的仅在 10% 以下,并非籼粳亚种间杂交产量优势不强,而是其优势难以充分发挥。粳型三系不育系均以 BT 型质源与主栽粳稻品种选育而来,在粳稻中很难找到恢复系,典型籼粳间的遗传障碍又导致不能直接利用籼稻的恢复基因,因此须通过“籼粳架桥”技术获得中间材料,以利用籼稻恢复基因的同时利用籼稻的广适性、抗逆性等优良有利基因。但是这种“籼粳架桥”技术获得的中间材料的籼粳成分必须适度,否则籼型成分较多则不能适应北方的气候生态条件,籼型成分太低又不能扩大双亲间的遗传差距而扩大杂种优势。因此,尽管籼粳亚种间杂种优势十分突出,产量具有成倍增加的巨大潜力,但生产上运用的粳稻不育系所配杂种的优势利用实际上是部分亚种间杂种优势利用。杂交粳稻优势不强的另一个原因在亲本之间遗传基础缺乏多样性。一旦通过“籼粳架桥”技术获得中间材料,这种中间材料也被广泛地用来转育成新的恢复系。据估计,到 20 世纪末,南北方籼粳恢复系 60% 含有 C57 的亲缘,这是广泛转育的结果。有学者对北方杂交粳稻骨干亲本遗传差异进行 SSR 标记检测,其结果表明 23 个骨干亲本中有 16 个骨干亲本被聚于同一组内,约占 70% 左右。足见北方杂交粳稻亲本间的遗传基础比较狭窄。

BT 型胞质不育系是由主栽常规粳稻选育而成,常规粳稻有部分是直接利用杂交粳稻的成果培育而成的,这种选育恢复系和不育系的方式有一段时期内使杂交粳稻的生产得到“水涨船高”的影响。然而,随着时间的推移,恢复系遗传基础贫乏、亲本老化,杂交粳稻双亲之间的遗传基础变得越来越单一,最终其产量优势因与常规粳稻不相上下而制约了其发展。20 世纪 90 年代中期育成的 C418 再一次促成了北方粳稻这种“水涨船高”的局面,又循环了一次类似于 C57 的作用,这是导致杂交粳稻发展几起几落最重要的原因。因此,至今北方杂交粳稻的推广面积仍没有大的突破。

3.2 品质问题

农业部 2000—2001 年对中国水稻品种进行了普查,对搜集的全国 7 个省(直辖市、自治区)的 1109 个水稻样品进行品质评价,结果 288 个粳稻样品中品质国标三级以上优质常规粳稻 91 个,约占 32%,而杂交粳稻仅 12 个,只占 4%。由此可以看出,中国杂交粳稻尽管有些组合的米质达到国标二级以上,但整体水平远不及优质常规粳稻。这对于近年来中国水稻连年丰收、优质优价的市场格局而言,在杂交粳稻产量优势没有充分发挥的条件下,品质的比较效益更能刺激农民生产的积极性。这是目前常规粳稻品种占压倒性地

位，而杂交粳稻得不到发展甚至滑坡的另一个重要原因。

3.3 杂交制种纯度和产量问题

中国杂交粳稻应用最广的三系不育系均属于 BT 型不育系，都是利用各生态稻作区的常规粳稻转育而成。这种直接转育成的不育系开颖角度小，柱头外露率几乎为零，异交结实率低，加之细胞质的负效应导致不育系开花时间比保持系明显延迟，造成父母本花时差导致杂交粳稻制种产量低、不育系繁殖困难，严重制约了杂交粳稻的推广应用。

杂交制种纯度是影响杂交粳稻生产的另一重要因素。BT 型不育系的育性容易受到环境条件的影响，南方稻作区的高温容易使这类不育系的花药开裂、散粉而导致自交结实。另外，杂交粳稻的种子生产部门没有建立一个提纯、制种、繁殖的专业生产体系，这也是杂交粳稻种子纯度低的一个重要原因。

3.4 推广应用问题

杂交粳稻在中国有近 30 年的种植史，但其高产栽培理论和技术研究相当欠缺。目前杂交粳稻生产基本还是沿用常规粳稻的栽培方式，没有做到良种良法相结合，限制了杂交粳稻杂种优势的发挥。盲目借鉴杂交籼稻的经验，没有根据杂交粳稻自身的特性来研究栽培技术，只能导致杂交粳稻栽培技术体系的不完善，也制约了杂交粳稻的发展。

4 杂交粳稻发展对策

4.1 利用亚种间杂种优势，提高优势水平

中国杂交粳稻走亚种间杂种优势利用的途径并将其作为主攻方向，在育种实践中已得到广泛认可。由于籼、粳稻在适应各自生态条件的长期进化过程中产生的籼粳遗传分化及光温反应影响，籼粳两亚种间存在遗传不亲和障碍，因此籼粳亚种间杂种优势利用必须遵循籼粳遗传成分适度搭配、当地适应系与外缘系相结合的原则，以产生较大的遗传差异。同时在产生差异的过程中注意利用籼粳两生态优势种群的有利优势，淘汰不利优势，构建具有较高遗传基础水平的籼粳中间材料，再通过杂交配组使有利基因得到充分发挥，不利基因受到抑制而实现杂种优势利用。值得注意的是，杂交配组克服不育系与恢复系的花时差所造成的制种障碍，以及籼粳交之间极强颖花优势的同时较大结合率的负优势。

4.2 筛选“籼不粳恢”型亲本材料，解决杂种优势和种子生产问题

目前生产上利用的绝大多数粳型三系不育系是 20 世纪 80 年代由当时生产上主推的常规粳稻转育而成的，范围相对狭窄且已老化。要提高杂交粳稻的竞争水平，必须选育一批新型的不育系。不育系选择偏籼型的，恢复系选择偏粳型的，选育过程中注意在优良农艺性状选择的同时，加强其异交特性的选择，如选择大柱头、高柱头外露率的性状，或者将籼稻中的优良异交性状导入粳稻不育系，以克服 BT 型胞质不育系制种产量低的缺陷，突破杂交粳稻应用于生产的瓶颈。恢复系则采用“籼粳架桥”技术，充分利用籼稻优势生态群的有利品种资源，创造高配合力或特异亲和的恢复系。也可将广亲和基因导入不育系和恢复系，解决亚种间杂交稻结实率低的问题。

4.3 选用两系法，充分利用粳稻的优良资源

相对于三系法而言，两系法具有遗传行为简单、配组自由等优点，90%以上的常规品