

DOI: 10.3724/SP.J.1006.2016.00313



转型时期杂交水稻的困境与出路

彭少兵

华中农业大学植物科学技术学院, 湖北武汉 430070

摘 要: 杂交水稻技术是我国自主创新并领先于世界的重大技术, 杂交水稻技术在水稻生产中的成功应用为保障我国粮食安全做出了巨大贡献。由于杂交稻品种选育策略和种子生产与经营方式没有适应目前水稻生产的转型变化, 最近几年我国杂交稻的种植面积有下降的趋势。这并不是杂交稻技术本身的问题, 国内外的生产实践证明杂交稻仍然代表先进的水稻生产技术。如果我们尽快地调整杂交稻的育种目标, 培育出适合于轻简化和机械化水稻生产方式、综合抗性好、资源利用效率高、稻米品质优良的杂交稻组合, 通过轻简化和机械化栽培技术降低杂交稻的种子生产成本和种子价格, 我国的杂交稻有望迅速走出目前的困境。

关键词: 杂交水稻; 轻简栽培; 机械化; 种子价格; 稻米品质

Dilemma and Way-out of Hybrid Rice during the Transition Period in China

PENG Shao-Bing

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

Abstract: Hybrid rice technology is one of a few world-class technologies that were developed by Chinese scientists. Its wide adoption has made tremendous contribution to food security in China. However, the planting area to hybrid rice has started declining in recent years in China. This is because rice farmers now prefer inbred varieties with low-input requirements and cheap seed price to cut down the production cost. Hybrid rice technology is still effective in enhancing grain yield and farmers' incoming if it is used properly. To reverse the declining trend of hybrid rice planting area in China, breeders need to adjust their breeding targets and develop new hybrid rice varieties with the following characteristics: (1) suitable for low-input and mechanized cultivation, (2) resistance to biotic and abiotic stresses, (3) high resource use efficiency, and (4) good grain quality. In addition, the cost of hybrid seed production must be reduced with low-input and mechanized cultivation technology in order to produce hybrid rice seeds which are affordable to rice farmers.

Keywords: Hybrid rice; Low-input cultivation; Mechanization; Seed price; Grain quality

我国自从1964年以袁隆平院士为首开展杂交水稻研究以来, 取得了一系列突破性的重大科研成果^[1]。我国杂交稻于1973年实现三系配套, 1976年开始三系杂交稻大面积推广应用; 1973年发现光温敏不育材料, 1995年育成用于大面积生产的两系杂交稻品种; 1996年开展株型改良和杂种优势利用相结合的超级杂交稻研究, 截至2015年, 育成由农业部冠名的超级杂交稻示范推广品种共82个^[2]。杂交稻技术在水稻生产中的成功应用为保障我国粮食安全做出了巨大贡献^[3]。近年来, 杂交稻的种植面积占水

稻种植总面积的50%~60%^[4], 在1976—2014年间, 我国杂交稻累计种植面积约5亿公顷。按杂交稻比常规稻增产大约15% (增产稻谷约1000 kg hm⁻²)来估算, 近40年来杂交稻的种植累计增产稻谷约5000亿千克^[5]。

杂交稻技术是我国自主创新并领先于世界的重大技术^[3]。杂交稻作为一项现代农业高新技术成果, 其在中国的成功推广和应用, 对世界水稻科研和生产也产生了广泛而深远的影响^[6]。利用中国的不育系材料, 1979年国际水稻研究所开始杂交稻技术的

本研究由国家公益性行业(农业)科研专项(201203096)和教育部长江学者和创新团队发展计划(IRT1247)资助。

This study was supported by the Special Fund for Agro-scientific Research in the Public Interest (201203096) and the Program for Changjiang Scholars and Innovative Research Team in University of Ministry of Education of China (IRT1247).

作者联系方式: E-mail: speng@mail.hzau.edu.cn, Tel: 027-87288668

Received(收稿日期): 2015-11-07; Accepted(接受日期): 2015-12-22; Published online(网络出版日期): 2016-01-04.

URL: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.1809.S.20160104.1427.002.html>

研究,随后印度、印度尼西亚、韩国、马来西亚、菲律宾、泰国、越南、孟加拉国和美国也陆续开始研究杂交稻技术^[7]。现在,杂交稻已经在印度、越南、美国、孟加拉国、印度尼西亚和菲律宾等多个国家大面积种植^[3]。到 2012 年,国外的杂交稻年播种面积达 520 万公顷,占水稻种植总面积的 4%左右^[6]。随着国外杂交稻种植面积的逐步扩大,杂交稻技术对保障世界粮食安全的贡献也会日益显著。

但是,最近几年我国杂交稻的种植面积有下降的趋势^[8],常规稻种植面积和比例在部分地区有较大幅度回升。这种现象导致杂交稻制种面积和制种量连续两年大幅减少,杂交稻种子库存积压严重。据全国农业技术推广服务中心最新数据表明^[9]:2014 年杂交水稻制种面积 9.33 万公顷,比上年减少 1.53 万公顷左右,同比下降 14.1%,全国新产杂交稻种子约 2.3 亿千克,总产比上年减少 4200 万千克,同比下降 15.4%。很多水稻种子公司杂交稻种子销售亏本。针对这种现象,有专家学者甚至开始呼吁有关部门采取措施以拯救杂交稻^[10]。本文将分析造成杂交稻目前面临困境的主要原因,并探讨杂交稻如何走出困境的出路。

1 杂交稻面临困境的主要原因分析

我国水稻生产正面临着重大转型^[11]。其转型的推动力主要是:(1)农村劳动力短缺,劳动力结构发生了改变;(2)农业生产成本增长过快,表现在主要的农业生产资料如种子、化肥、农药的价格不断上涨,水稻生产的收益低微,从而严重影响农民种粮的积极性;(3)2013 年中央一号文件鼓励发展新型经营主体之后,各级政府采取种种奖励措施和扶持政策促进了种植规模的扩大;(4)随着中国经济的快速发展,消费者环境保护和食品安全意识逐步加强,通过大肥、大水和大量农药投入的水稻生产方式已经开始转变。同时,消费者对稻米的食味品质要求也越来越高。杂交稻目前面临困境的主要原因是其品种选育策略和种子生产方式没有根据以上这些变化做出有效的调整^[10]。

相反,农民则通过改变种植方式和更换品种来快速应对外部环境和政策的变化,以达到水稻生产收益的最大化。首先,由于种稻的效益低,农民要尽量降低生产资料如种子、化肥、农药的投入成本。特别是在种植规模扩大的情况下,种植大户对降低投入成本更加注重。同时,为了减少劳动力的投入,农

民不得不放弃精耕细作的种植方式,而采用轻简化和机械化的种植方式。轻简化和机械化的作物种植方式如直播往往伴随着用种量的大幅增加^[10]。在这种情况下,农民自然要选择价格较低的常规稻品种。另外,追求超高产的高投入水稻种植方式面临着病虫害危害、倒伏和减产的风险,农民会选择产量潜力不高但稳产的常规稻品种,以降低水稻生产风险并获得稳定的收入。最后,常规稻的食味品质总体仍然优于杂交稻,常规稻还可以在一定的年限内自行留种,这些都有利于农民节本增收。

国家统计局^[12]发布的数据显示(图 1),2015 年全国早稻种植面积 571.5 万公顷,相比 1985 年的 957.5 万公顷,我国早稻种植面积 30 年下降了 40%。1985 年早稻种植面积占水稻种植总面积的 30%左右,2015 年这个比例下降到了 20%左右。早稻种植面积大幅度减少主要是由于早稻种植比较效益低、劳动强度大,很大一部分农民改双季稻为单季稻。为了进一步降低劳动强度和劳动力投入成本,农民利用常规稻品种采用直播方式种植单季稻。这些变化导致杂交稻的种植面积显著下降。

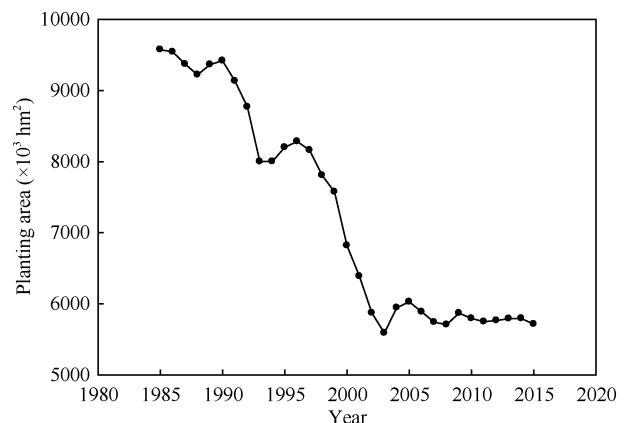


图 1 1985–2015 中国早稻播种面积(数据来源于国家统计局^[12])
Fig. 1 Planting area of early-season rice in China from 1985 to 2015 (The data are from National Bureau of Statistics of China^[12])

杂交稻种子价格过高是导致目前农民种植杂交稻积极性降低的最主要原因。我国杂交稻种子的价格同国际价格相比并不便宜(表 1)。国际市场上一般的杂交种 30 元 kg^{-1} (按 1 美元 = 6.2 元人民币换算),好的 60 元 kg^{-1} ,最好的可达 90 元 kg^{-1} 。美国 RiceTec 公司出售给当地稻农最好的杂交种 56 元 kg^{-1} ,如果是加入了抗除草剂性状的杂交种每千克增加 14 元^[13]。我国一般的杂交种 40 元 kg^{-1} ,好的

60 元 kg^{-1} , 最好的可达 100 元 kg^{-1} , 基本上与国际市场价格持平, 但是比美国的价格高。另外, 美国杂交稻公司提供给稻农的售后技术服务和保险服务是我们无法可比的。所以, 我们必须通过提高制种产量、降低制种成本和风险、减少种子的流通环节来降低杂交稻种子的价格。总之, 杂交稻目前所面临的问题是制种成本过高的问题, 是种子经营管理的问题, 是杂交稻育种目标不适应当前水稻生产转型的问题^[10], 而不是杂交稻技术本身的问题。

表 1 杂交稻种子价格比较

Table 1 Price comparison of hybrid rice seeds (Yuan kg^{-1})

种子等级 Seed grade	国际市场 International market	美国 USA	中国 China
一般 General	30	—	40
优良 Good	60	56	60
最好 Superior	90	70 ^a	100

^a: 带有 Clearfield 性状; 国际市场价格由菲律宾 SL Agritech Corporation 许为军博士提供; 美国市场价格由国际水稻研究所杂交水稻首席专家谢放鸣博士提供; 中国市场价格由湖北省武穴市大山镇农技站宋红志提供。

^a: With Clearfield trait; International price was provided by Dr. Weijun Xu of SL Agritech Corporation, Philippines; Price of USA was provided by Dr. Fangming Xie of International Rice Research Institute; Price of China was provided by Mr. Hongzhi Song of Agricultural Technology Extension and Service Station, Dajing Township, Wuxue City, Hubei Province.

2 杂交稻仍然代表先进的水稻生产技术

尽管杂种优势的生理机理还不是十分清楚, 但杂交稻的产量优势是不容置疑的。国内大量的试验证明杂交稻的产量比常规稻有高 15%~20% 的潜力^[14]; 在国际水稻研究所这一常规稻育种实力很强, 而杂交稻育种规模相对较小的科研单位, 其育成的杂交稻组合的产量潜力也比常规稻高近 10%^[15]。

同常规稻相比, 杂交稻苗期早生快发、分蘖力

强、生长旺盛。我们的试验结果表明^[16]: 杂交稻品种(丰两优香 1 号、扬两优 6 号、Y 两优 1 号)在旱直播用种量从每平方米 150 粒降低到 60 粒时, 其产量没有下降。而常规稻品种黄华占在同样的情况下产量下降了 8.2%, 达到显著水平(表 2)。对于千粒重为 25 g (含水量 14%) 的水稻品种, 每平方米 60 粒的播种量只相当于每公顷 15 kg 的用种量, 这是非常低的直播用种量, 甚至低于移栽稻的正常用种量。在这么低的播种量下, 杂交稻依靠前期的营养生长优势、高分蘖力, 保证了单位面积的穗数不减少, 从而确保了产量不降低。而常规稻黄华占在这么低的播种量下, 单位面积的穗数明显降低, 导致产量显著降低。人们一般认为杂交稻不适合直播种植方式, 这是出于种子成本上的考虑, 我们的试验结果表明由于杂交稻营养生长期的生长优势, 在生物学意义上杂交稻比常规稻更适合于直播这种轻简化栽培技术^[16]。

我们的另一个试验比较了杂交稻和常规稻对降低氮肥和移栽密度的响应。结果表明: 杂交稻品种扬两优 6 号在施氮量从 180 kg hm^{-2} 减到 90 kg hm^{-2} 时, 其稻谷产量从 10.49 t hm^{-2} 下降到 10.24 t hm^{-2} , 减产 2.4%; 常规稻品种黄华占在同样的情况下, 稻谷产量从 8.88 t hm^{-2} 下降到 8.19 t hm^{-2} , 减产 7.8% (表 3)。同时, 我们将移栽的株行距从 0.13 $\text{m} \times 0.30 \text{ m}$ 增加到 0.20 $\text{m} \times 0.30 \text{ m}$ 时(移栽密度从 25.0 蔸 m^{-2} 减到 16.7 蔸 m^{-2}), 扬两优 6 号的稻谷产量从 10.49 t hm^{-2} 下降到 10.46 t hm^{-2} , 减产仅 0.3%; 黄华占的稻谷产量从 8.88 t hm^{-2} 下降到 8.42 t hm^{-2} , 减产 5.2% (表 4)。这些试验结果说明杂交稻比常规稻更适合于减氮降密的种植方式。人们普遍认为杂交稻需要加大投入才能发挥其产量优势, 但这并不表明杂交稻比常规稻需要消耗更多的资源。我们的试验结果证明杂交稻产量对投入减少的敏感性并没有常规稻高, 更重要的是在两个不同的氮肥和劳动力投入水平下, 杂

表 2 播种量对杂交稻和常规稻产量的影响

Table 2 Effect of seeding rate on the grain yield of hybrid and inbred varieties (t hm^{-2})

品种 Variety	播种量 Seeding rate		
	150 grains m^{-2}	90 grains m^{-2}	60 grains m^{-2}
黄华占 Huanghuazhan	9.22 a	9.29 a	8.46 b
丰两优香 1 号 Fengliangyouxiang 1	9.05 a	8.98 a	8.79 a
扬两优 6 号 Yangliangyou 6	10.60 a	10.71 a	10.83 a
Y-两优 1 号 Y-liangyou 1	11.13 a	11.36 a	11.34 a

数据来源于 Sun et al., 2015^[16]。同一行内标以不同字母的值在 0.05 水平上差异显著。

The data are from Sun et al., 2015^[16]. Values within the same row followed by different letters are significantly different at the 0.05 probability level.

表 3 降低施氮量对杂交稻和常规稻产量的影响
Table 3 Effect of N reduction on the grain yield of hybrid and inbred varieties (t hm⁻²)

品种 Variety	施氮量 Nitrogen rate		低氮下减产比率 Reduction under low nitrogen(%)
	180 kg hm ⁻²	90 kg hm ⁻²	
黄华占 Huanghuazhan	8.88	8.19	7.8
扬两优 6 号 Yangliangyou 6	10.49	10.24	2.4

2014 年湖北武穴大金(未发表数据)。
Field experiment was conducted in 2014 in Dajin Township, Wuxue County, Hubei Province (unpublished data).

表 4 降低密度对杂交稻和常规稻产量的影响
Table 4 Effect of low planting density on the grain yield of hybrid and inbred varieties (t hm⁻²)

品种 Variety	种植密度 Planting density		低密度下减产比率 Reduction under low density (%)
	25.0 hill m ⁻²	16.7 hill m ⁻²	
黄华占 Huanghuazhan	8.88	8.42	5.2
扬两优 6 号 Yangliangyou 6	10.49	10.46	0.3

2014 年湖北武穴大金(未发表数据)。
Field experiment was conducted in 2014 in Dajin Township, Wuxue County, Hubei Province (unpublished data).

交稻的产出显著高于常规稻。这也说明杂交稻的资源利用效率要比常规稻高。此外, 国外的研究表明, 杂交稻前期的营养生长优势有利于限制杂草生长^[17]。也有研究报道在干旱和极端温度等非生物逆境条件下, 杂交稻的表现优于常规稻^[18]。另外, 杂交稻的食味品质欠缺是由于亲本的米质不好造成的, 不是杂交稻技术本身的问题, 两系杂交稻的米质普遍优于三系杂交稻就证明了这一点^[19]。

以上的事实充分说明杂交稻仍然代表先进的水稻生产技术, 正是因为这个原因, 杂交稻的推广面积近几年在美国快速增长。自从美国 RiceTec 公司 2000 年在美国推出第一个杂交稻组合以来, 美国杂交稻的种植面积每年以 40% 的速度增长^[20]。以美国水稻种植面积最大的阿肯色州为例, 2002 年杂交稻的种植面积只占长粒水稻种植总面积的 2.0%, 2012 年这个比例增加到近 50.0%^[21]。国际水稻研究所杂交水稻首席专家谢放鸣博士提供的最新数据表明, 美国杂交稻的种植面积已达 46 万公顷左右, 占水稻种植总面积的 46.1%。毫无疑问, 美国是中国之外杂交稻的种植比例最高的国家。美国稻农选择杂交稻有以下原因: (1) 杂交稻比最高产的常规稻增产稻谷 1.0~1.7 t hm⁻² ^[22]; (2) 杂交稻抗病性比常规稻更强, 特别是对穗颈稻瘟病和细菌性谷枯病的抗性^[20]; (3) 杂交稻的生育期比常规稻短, 有利于减少管理和投入成本^[22]。这些都有助于稻农增加水稻生产的收入, 稻农种植杂交稻每公顷增加成本约 209 美元^[13], 成本的净增加包括了种子成本的增加、氮肥成本的增加和农药成本的降低。按美国稻谷价格每吨 282 美元、每公

顷增产稻谷 1.0~1.7 t 计算, 种植杂交稻每公顷净增收入 73~270 美元。当然, 杂交稻的食味品质和碾磨品质总体上低于常规稻, 美国有的州会因为杂交稻的品质降低收购价, 如得克萨斯州每吨降低 22 美元, 而有的州如阿肯色州就没有降低杂交稻的收购价^[22]。在阿肯色州, 稻谷的糙米率和整精米率分别低于 70% 和 55%, 其收购价就会降低, 而阿肯色州生产的大多数杂交稻都能达到这个标准。此外, 有研究表明, 杂交稻比常规稻抗杂草稻^[17]。同常规稻相比, 杂交稻节水 33.5%、温室气体排放减少 23.2%, 这些都是由于杂交稻生育期缩短实现的^[21]。美国的另一个研究表明杂交稻的吸氮能力比常规稻强^[23], 杂交稻比常规稻能吸收更多的土壤氮素, 同时, 在土壤背景氮低的情况下, 杂交稻吸收氮肥的效率比常规稻高。

美国的杂交稻种子基本上全部由 RiceTec 公司生产, 其杂交稻种子约 80% 是两系法生产的, 只有 20.0% 是三系杂交种。全国农业技术推广服务中心的数据表明, 我国 2013 年两系杂交稻的种植面积达到杂交稻种植总面积的 34.0%^[24], 相比之下美国两系杂交稻的比例高于我国。一般认为两系杂交稻的产量和稻米品质优于三系杂交稻^[19], 所以两系杂交稻代表更先进的杂交稻技术。美国杂交稻的母本主要是由中国的不育系改良而成, 父本是本土常用的热带粳稻。美国杂交稻的种子生产主要采用旱直播条播, 先直播 4 行父本, 然后直播 32 行母本。制种产量一般为 2~3 t hm⁻², 与我国相当, 杂交稻制种的劳动力投入成本要比我国小很多。美国的杂交稻生产也主要采用旱直播条播, 行距多为 17.8 cm, 播种量

大约是每平方米 110 粒种子(约 30 kg hm^{-2}), 略比我国移栽杂交稻用种量高 30%左右, 而比我国常规稻直播用种量少很多。早直播后于五叶期或分蘖初期开始建立水层, 在建立水层之前施氮肥每公顷 $100.8 \sim 134.4 \text{ kg}$ 纯氮, 在幼穗分化期追施氮肥每公顷 33.6 kg 纯氮。每公顷 $134.4 \sim 168.0 \text{ kg}$ 的纯氮投入比我国水稻生产的施氮量低了很多^[25-26]。在美国推广面积最大的杂交稻组合 XL745, 产量潜力高, 比对照增产 1.8 t hm^{-2} ; 全生育期 111 d, 株高 109~114 cm; 抗稻瘟病, 中抗细菌性谷枯病; 生态适应性广, 再生力强; 碾磨品质好, 稻谷的糙米率和整精米率分别为 72%和 59%^[26]。不过, 美国 RiceTec 公司现在还没有完全解决杂交稻食味品质不理想的问题, 导致 50 位美国稻农在 2012 年 10 月对 RiceTec 公司进行民事侵权行为诉讼, 谴责 RiceTec 公司杂交稻的食味品质有损美国长粒稻米优良品质的声誉^[22]。

两系杂交稻在我国的推广应用也面临一些问题。由于两系杂交稻的不育系是光温敏核不育类型, 在不同的生态条件下表现出不同的育性^[27], 因此在制种中常因不育系的育性波动而导致制种失败。1999 年 8 月下旬, 湖南出现连续阴雨, 日均温低于 24°C , 部分两系杂交稻不育系育性感期与低温期吻合, 使制种失败^[28]。同样地, 因极端气候影响, 2013 年和 2014 年江苏省两系杂交稻制种严重减产, 给制种企业和制种农户造成巨大经济损失, 并且严重影响杂交稻用种安全 and 国家粮食安全^[29]。光温敏不育系是两系杂交水稻的基础, 而不育系育性转换的光温反应特性是光温敏不育系生产应用的关键。因此深入研究两系杂交稻对光温响应的机制与调控技术, 选育产量与品质优势突出且适应性广的组合, 是促进我国两系杂交水稻持续发展的关键。

人们普遍认为, 中国的杂交稻的研究与生产一直领先世界已经 50 年^[3]。在杂交稻品种资源和遗传育种研究方面, 我们仍然保持着领先优势, 但是在杂交稻种子生产、杂交稻种子经营与管理 and 杂交稻的大面积生产方面, 与美国比较已经无优势可言, 在某些方面甚至已经落后于美国。如果我国的杂交稻不尽快走出目前的困境, 就有可能丢掉杂交稻种植面积占水稻种植总面积比例世界第一的位置。

3 杂交稻走出困境的途径

3.1 杂交稻育种目标的多样化

杂交稻育种目标必须多样化, 以适应水稻生产

转型期农民对水稻品种新的要求。再也不能单一地强调产量潜力这个育种目标, 要综合考虑生物和非生物逆境的抗性、资源利用效率、稻米品质等多个育种目标。尽管两系杂交稻使杂交稻的米质有了很大的提高, 但需要进一步提高杂交稻的米质, 从而逐步减小与常规稻米质的差距。籼粳杂交在产量上的巨大优势已为无数学者在理论与实践中得到证实, 但籼粳杂种后代的米质差是育种家一直在努力解决的问题。籼粳杂交稻米质发生籼粳分离, 影响了外观品质及蒸煮品质, 这给籼粳杂交稻的应用推广带来了一定困难^[30], 因此有必要加强对改善籼粳杂交稻稻米品质的研究。从生态型的角度考虑, 杂交稻的育种不能过分集中在中稻, 必须同时加强早稻、晚稻的杂交稻育种, 以丰富双季稻生产的品种组合。在品种的株型上, 不能只选育高秆、大穗、粗壮茎秆、耐肥的组合, 这样的组合可能不适合轻简化和机械化栽培方式。适合于轻简化和机械化栽培的品种特征有: 早发、前期营养生长快速(以限制杂草生长)、分蘖力强、穗数多, 感光性和感温性弱、生态适应性广、日产量高和养分利用率高等。杂交稻的育种专家需要将这些性状聚合到新的杂交组合中, 并促进杂交稻品种特性的多样化。另外, 要选育生育期短, 产量潜力不是很高但是产量很稳定的杂交组合, 使之更适合于直播和机插的种植模式^[10]。

3.2 创建新的高效种植模式

高效种植模式如果能大幅度地提高水稻生产的收益, 农民就不会在乎种植杂交稻增加的种子成本。再生稻就是一种增加水稻产量, 促进农民增收, 缓解农忙与减轻劳作强度的新型高效种植模式^[11]。目前湖北省再生稻在黄冈、荆州、荆门等地市迅猛发展, 据估计, 2014 年再生稻推广面积蕲春县达 1.33 万公顷, 洪湖市达 0.67 万公顷。巧合的是在鄂东南和江汉平原的主推再生稻品种都是品质相对较好的两系中稻组合, 鄂东南的主推组合是新两优 223 和两优 6326, 江汉平原的主推组合是丰两优香 1 号。为了保证头季和再生季的产量, 用于再生稻的这些两系中稻组合在同类品种中都属于早熟型。更重要的是, 这些中稻组合要在 3 月底之前播种, 比早稻的播种期都早, 以同时保证头季的产量不减少和再生季有足够的时间成熟。2014 年蕲春县再生稻全程机械化高产示范片测产显示头季稻平均产量 9.08 t hm^{-2} , 头季机收的再生季平均产量达到 5.61 t hm^{-2} , 周年产量 14.69 t hm^{-2} 。而常规稻黄华占做再生稻两季产

量都不理想。此外,再生季稻米品质比头季优良,这也有利于缓解杂交稻品质总体上较差的问题。再生稻作为一种新的高效种植模式,在其大面积推广的地区如蕲春县和洪湖市,不仅稳定了双季稻的种植面积和水稻总产量,也稳定了杂交稻的种植面积。

3.3 优化杂交稻栽培管理技术

我们的试验结果及美国的生产实践表明杂交稻的营养生长优势使其作直播时并不需要特别高的用种量。当直播用种量降低时,养分和水分管理措施以及田间杂草控制都要有相应的调整。对于移栽杂交稻,秧盘基质和水肥管理的优化都有利于提高种子的发芽率和成苗率。种子引发处理和包衣处理可以大幅度提高种子的发芽率和成苗率。提高种子的发芽率和成苗率有助于进一步降低杂交稻的用种量。尽管美国 RiceTec 公司的杂交稻种子不像美国先锋公司的玉米种子按粒卖,其播种量是按单位面积的粒数来控制的^[25-26],这样的精准播量有助于降低用种量,保证作物单位面积的穗数,以达到高产和稳产的目的。当然,美国 RiceTec 公司对于播种量的精准控制必须有高的种子发芽率、合适的土壤含水量、有效的杂草控制和先进的机械装备做技术保障。所以,农机与农艺的有效结合才能保证直播稻在尽可能低的播种量下“一播全苗”。

3.4 降低杂交稻种子成本

杂交稻种子生产的机械化是提高制种产量并降低制种成本最有效的方法^[10]。美国 RiceTec 公司杂交稻种子生产已经全部实现全程机械化,中国大的杂交稻种子公司如隆平高科也开始了杂交稻种子生产全程机械化的尝试^[1]。全程机械化杂交稻种子生产包括父本和母本的机插和机直播、无人飞行器的赶粉和喷施920、成熟期的分行机收等。在杂交稻的选育过程中,要考虑适应于机械化制种的亲本特性。除了机械化制种以外,扩大制种规模 and 通过轻简化栽培管理技术也是降低杂交稻种子生产成本的有效方法。尽管杂交稻的制种产量主要受异交结实率的影响,杂交稻制种的高产栽培技术也能有效地提高制种产量。这些技术包括优化父、母本幅宽比例、通过调整播期和喷施植物生长激素调控花期相遇、制种田水肥优化管理等等。在杂交稻种子的生产环节可以有效地降低种子成本,但在杂交稻种子的经营管理环节,降低种子成本的空间可能更大。另外,减少杂交稻的生产和经营风险意味着杂交稻种子成本的降低。

总之,由于杂交稻的育种策略和种子生产及经营管理方式没有适应转型期水稻生产的特点,加上优质、稳产的常规稻品种施加的压力,杂交稻的推广面积在我国局部地区有下降的趋势。这并不是杂交稻技术本身的问题,国内外的实践证明杂交稻仍然代表先进的水稻生产技术,因此我们应充分肯定杂交稻技术在增产、增效上的巨大作用。另外,中国的杂交稻技术并不是在每个方面仍然保持着世界领先优势,美国在杂交稻种子生产、杂交稻种子经营与管理、杂交稻的大面积生产方面有很多值得我们学习的地方。我们只有尽快地调整杂交稻的育种目标,通过轻简化和机械化栽培技术来降低种子生产成本并进一步提高制种产量,同时优化杂交稻种子的经营与管理系统,以有效地降低杂交稻种子的价格。这样,我国的杂交稻才能迅速走出目前的困境,继续为我国的粮食安全做出巨大贡献。

References

- [1] Ma G H, Yuan L P. Hybrid rice achievements, development and prospect in China. *J Integr Agric*, 2015, 14: 197–205
- [2] 国家水稻数据中心. 中国超级稻. <http://www.ricedata.cn/variety/superice.htm>
China Rice Data Center. China Super Rice. <http://www.ricedata.cn/variety/superice.htm> [Issued date: 2015-09-25] (Visited date: 2015-11-4)
- [3] 李晏军. 中国杂交水稻技术发展研究(1964–2010). 南京农业大学博士学位论文, 江苏南京, 2010
Li Y J. Research on the Development of Hybrid Rice Technology in China (1964–2010). PhD Dissertation of Nanjing Agricultural University, Jiangsu, China, 2010
- [4] 邓兴旺, 王海洋, 唐晓艳, 周君莉, 陈浩东, 何光明, 陈良碧, 许智宏. 杂交水稻育种将迎来新时代. *中国科学: 生命科学*, 2013, 43: 864–868
Deng X W, Wang H Y, Tang X Y, Zhou J L, Chen H D, He G M, Chen L B, Xu Z H. Hybrid rice breeding welcomes a new era of molecular crop design. *Sci Sin Vitae*, 2013, 43: 864–868 (in Chinese with English abstract)
- [5] 李黎红, 倪建平, 陈乾, 李西明. 中国杂交水稻种业的发展和展望. *种子*, 2013, 32(2): 56–60
Li L H, Ni J P, Chen Q, Li X M. Development and prospect of hybrid rice seed industry in China. *Seed*, 2013, 32(2): 56–60 (in Chinese)
- [6] 岳尚华. 一粒种子改变一个世界. *地球*, 2014, 214(2): 1–4
Yue S H. One seed changes a whole world. *Earth*, 2014, 214(2): 1–4 (in Chinese)
- [7] Virmani S S. Prospects of hybrid rice in the tropics and subtropics. In: Virmani S S, ed. *Hybrid Rice Technology: New Developments and Future Prospects*. Philippines: International Rice Research Institute, P.O. Box 933, Manila 1099, 1994. pp 7–19
- [8] 石萌萌. 杂交水稻发展推广面临新考验. *科技导报*, 2014, 32(27): 9
Shi M M. New challenges in the development and adoption of

- hybrid rice. *Sci & Technol Rev*, 2014, 32(27): 9 (in Chinese)
- [9] 全国农业技术推广服务中心. 2014 年全国农作物种子产供需形势分析秋季例会纪要. 北京: 全国农业技术推广服务中心, 2014
National Agricultural Technology Extension and Service Center. Analysis on the Supply and Demand Situation of Seed Production of Major Crops in 2014. Beijing: National Agricultural Technology Extension and Service Center, 2014
- [10] 陈立云, 雷东阳, 唐文帮, 邓化冰, 肖应辉, 张桂莲. 中国杂交水稻发展面临的挑战与策略. *杂交水稻*, 2015, 30(5): 1-4
Chen L Y, Lei D Y, Tang W B, Deng H B, Xiao Y H, Zhang G L. Challenges and strategies of hybrid rice development. *Hybrid Rice*, 2015, 30(5): 1-4 (in Chinese with English abstract)
- [11] 彭少兵. 对转型时期水稻生产的战略思考. *中国科学: 生命科学*, 2014, 44: 845-850
Peng S B. Reflection on China's rice production strategies during the transition period. *Sci Sin Vitae*, 2014, 44: 845-850 (in Chinese with English abstract)
- [12] 国家统计局. 主要农作物播种面积. <http://data.stats.gov.cn/easyquery.htm?cn=C01>
National Bureau of Statistics of China. Planting Area of Major Crops. <http://data.stats.gov.cn/easyquery.htm?cn=C01> [Issued date: 2015-10-19] (Visited date: 2015-11-04)
- [13] Deliberto M A, Salassi M E. Hybrid rice production costs and returns: Comparisons with conventional & Clearfield varieties. Staff Report No. 2010-06. Baton Rouge: Louisiana State University Agricultural Center, 2010. pp 1-8
- [14] Yuan L P, Virmani S S. Status of hybrid rice research and development. In: *Hybrid Rice: Proceedings of the International Symposium on Hybrid Rice*, Changsha, Hunan, China. 6-10 Oct. 1986. Philippines: International Rice Research Institute, P.O. Box 933, Manila 1099, 1988. pp 7-25
- [15] Peng S, Cassman K G, Virmani S S, Sheehy J, Khush G S. Yield potential trends of tropical rice since the release of IR8 and the challenge of increasing rice yield potential. *Crop Sci*, 1999, 39: 1552-1559
- [16] Sun L M, Hussain S, Liu H Y, Peng S B, Huang J L, Cui K H, Nie L X. Implications of low sowing rate for hybrid rice varieties under dry direct-seeded rice system in Central China. *Field Crops Res*, 2015, 175: 87-95
- [17] Ottis B V, Talbert R E, Scott R C, Smith K L. Rice yield and quality as affected by cultivar and red rice (*Oryza sativa*) density. *Weed Sci*, 2005, 53: 499-504
- [18] Tesio F, Tabacchi M, Cerioli S, Follis F. Sustainable hybrid rice cultivation in Italy: a review. *Agron Sustain Dev*, 2014, 34: 93-102
- [19] 杨仕华, 程本义, 沈伟峰, 夏俊辉. 中国两系杂交水稻选育与应用进展. *杂交水稻*, 2009, 24(1): 5-9
Yang S H, Cheng B Y, Shen W F, Xia J H. Progress of application and breeding on two-line hybrid rice in China. *Hybrid Rice*, 2009, 24(1): 5-9 (in Chinese with English abstract)
- [20] Ottis B. Hybrid rice seed—meeting the needs of the rice industry since 2003. <http://www.ricetec.com/News/News> [Issued date: 2015-09-17] (Visited date: 2015-11-05)
- [21] Nally L L, Dixon B L, Brye K, Rogers C W, Myrteza H, Norma R J. Estimating cultivar effects on water usage and greenhouse gas emissions in rice production. *Agron J*, 2014, 106: 1981-1992
- [22] Lyman N, Nally L L. Economic analysis of hybrid rice performance in Arkansas. *Agron J*, 2013, 105: 977-988
- [23] Norman R, Roberts T, Slaton N, Fulford A. Nitrogen uptake efficiency of a hybrid compared with a conventional, pure-line rice cultivar. *Soil Sci Soc Am J*, 2013, 77: 1235-1240
- [24] 全国农业技术推广服务中心. 2013 年全国农作物主要品种推广情况表. 北京: 全国农业技术推广服务中心, 2014. pp 10-25
National Agricultural Technology Extension and Service Center. Planting Area of Major Varieties of Crops in China in 2013. Beijing: National Agricultural Technology Extension and Service Center, 2014. pp 10-25 (in Chinese)
- [25] Hardke J, Mazzanti R, Baker R. 2015 Arkansas rice quick facts. <http://www.uaex.edu/farm-ranch/crops-commercial-horticulture/2015%20Arkansas%20Rice%20Quick%20Facts.pdf> [Issued date: 2015-10-29] (Visited date: 2015-11-05)
- [26] RiceTec. RiceTec Product Guide. Houston: RiceTec Inc., 2015. pp 1-20
- [27] 宋富根, 罗来保, 喻吉生, 颜见恩, 尹红根, 肖尚华, 陈茶光. 两系杂交稻制种应注意的几个技术问题. *江西农业学报*, 2006, 18(2): 59-61
Song F G, Luo L B, Yu J S, Yan J E, Yin H G, Xiao S H, Chen C G. Several technical problems in the production of hybrid rice. *Acta Agric Jiangxi*, 2006, 18(2): 59-61 (in Chinese)
- [28] 雷东阳, 肖层林, 陈立云. 两系杂交稻制种存在的问题与对策. *作物研究*, 2008, 22(增刊 1): 390-393
Lei D Y, Xiao C L, Chen L Y. The problems and countermeasures in seed production of two-line hybrid rice. *Crop Res*, 2008, 22(suppl-1): 390-393 (in Chinese)
- [29] 江苏省种子管理站. 关于切实做好 2015 年杂交水稻制种风险控制的通知. <http://www.jsseed.cn/hangyeguanli/tongzhigonggao/1115.html>
Seed Management Station of Jiangsu Province. Notice of risk control in seed production of hybrid rice in 2015. <http://www.jsseed.cn/hangyeguanli/tongzhigonggao/1115.html> [Issued date: 2015-04-17] (Visited date: 2015-11-04)
- [30] 陶爱林, 周文华. 籼粳亚种间杂交稻研究现状与展望. *中国水稻科学*, 1997, 19: 107-112
Tao A L, Zhou W H. Current status and prospects of research on intersubspecific (*indica-japonica*) hybrid rice. *Chin J Rice Sci*, 1997, 19: 107-112 (in Chinese with English abstract)