

袁隆平 陈洪新等著

杂交水稻育种栽培学



湖南科学技术出版社

杂交水稻育种栽培学

袁隆平 陈洪新等著

责任编辑：熊穆葛

*

湖南科学技术出版社出版发行

(长沙市展览馆路8号)

湖南省新华书店经销 湖南省新华印刷二厂印刷

*

1988年4月第1版第1次印刷

开本：787×1092毫米 1/16 印张：23.5 插页：1 字数：582,000

印数：(精)1—1,000 (平)1—1,000

(精装) ISBN 7—5357—0293—1
S·35 定价：9.50元

(平装) ISBN 7—5357—0288—0
S·34 定价：6.60元

湘目 87—42

封面题字：林乎加

本书编著人员

主 编

袁隆平 陈洪新

编著人员（按姓氏笔划为序）

王三良 邓定武 邓鸿德

朱运昌 朱兆明 许世觉

李东山 李宏科 吕宝智

陈洪新 陈清泉 张大程

张惠廉 周广洽 周学明

周坤炉 罗孝和 罗泽民

邹文隽 骆正鑫 袁隆平

唐英正 饶应森 覃明周

粟贵武 杨任德 黎垣庆

前 言

杂交水稻的培育成功和大面积应用于生产,是一项具有世界先进水平的科研成果。1981年,这项科研成果荣获国家第一个特等发明奖。生产实践证明,杂交水稻具有较强的杂种优势和较大的增产潜力,从1976~1985年大面积种植的短短十年中,已取得了巨大的经济效益和社会效益。

农业是国民经济的基础,粮食是基础的基础,只有占有足够的粮食,才能使整个国民经济建筑在牢固的基础之上,才没有后顾之忧。我国是一个拥有十亿多人口的大国,人均占有耕地面积很少,这是我们的基本国情之一。因此,一般说来,在我国放手发展粮食生产,不会出现粮食过剩,更不必担心粮食成灾。按照国家计划,“七五”末期粮食总产量要达到4500亿公斤,到本世纪末要求还会更高。要完成国家粮食计划,首先应考虑的是发展水稻生产,这是因为水稻在我国粮食生产中具有举足轻重的地位。在全国粮食作物总播种面积中,水稻播种面积不到30%,而产量却占粮食总产量的44%。同样,在水稻生产中,杂交水稻的播种面积只占水稻播种面积的26.44%,而产量却占水稻总产量的32.48%。因此,发展杂交水稻对提高水稻产量,促进我国粮食生产的发展有着十分重要的作用。

我国杂交水稻的研究与实践,引起了国内外广大农业科技工作者和生产者的极大兴趣与关注。为此,我们特编写了《杂交水稻育种栽培学》,供广大读者学习和了解杂交水稻的基本理论和技术。同时,也为世界各国研究和发展杂交水稻提供借鉴。

《杂交水稻育种栽培学》在我国是第一本比较全面、比较系统的科学著作。它较全面、系统地总结了我国杂交水稻的育种、繁殖、制种和栽培的实践经验,并从理论上进行了阐述。这本书除了向广大读者介绍国内外杂交水稻研究概况和生产现状外,还重点介绍了杂交水稻的育种方法、繁殖、制种技术和高产栽培技术措施,以及相应的基础理论知识。本书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。

本书是由从事杂交水稻科研、生产和教学人员共同编写的。由于本书涉及的学

科较多,又加上杂交水稻在我国的研究和应用的时间还很短,对杂交水稻规律性的研究还很不全面、很不深入;同时又由于我们的知识和写作水平有限,甚至可能还存在某些认识上的局限性,可能会出现某些缺点和错误,欢迎广大读者批评指正。

本书编写,得到了国家农牧渔业部、湖南省科学技术委员会的重视和赞助,得到了湖南省农业厅、湖南省农科院、湖南农学院、湖南师范大学以及湖南杂交水稻研究中心和湖南科学技术出版社的大力协助和支持,在此一并致谢。

编 者

1986年6月于长沙

目 录

前 言

第一章 概述	(1)
第一节 水稻杂种优势利用研究概况.....	(1)
第二节 我国水稻杂种优势利用的伟大成就.....	(2)
一、育成了不同类型的“三系”.....	2
二、选配了一批强优组合.....	3
三、形成了一套繁殖、制种技术.....	3
四、创造了高产栽培经验.....	4
五、基础理论研究取得了较大进展.....	5
第三节 杂交水稻的推广应用及经济效益.....	(7)
一、推广应用.....	7
二、经济效益.....	7
第四节 我国杂交水稻发展迅速的主要经验.....	(9)
一、全国协作，形成一个最佳的.....	11
结构网络.....	10
二、成立专家顾问组、作为咨询、.....	11
参谋机构.....	10
三、建立专门推广机构，做好推广.....	11
组织工作.....	11
四、培训一支热爱杂交水稻、技术熟练.....	11
五、充分利用华南气候资源，组织.....	11
“南繁北育”.....	11
六、筛选优良组合，进行生产.....	11
示范.....	11
七、抓好“三系”提纯和繁殖、.....	11
制种工作.....	11
第五节 问题和展望.....	(11)
一、问题.....	11
二、展望.....	12
第二章 水稻杂种优势	(14)
第一节 杂种优势的衡量方法及杂种优势的主要表现.....	(14)
一、杂种优势的衡量方法.....	14
二、水稻杂种优势的主要表现.....	15
第二节 杂种一代的遗传学分析及主要经济性状的遗传.....	(17)
一、 F_1 代杂种优势的遗传相关.....	17
分析.....	17
二、主要经济性状的遗传.....	19
第三节 杂种优势机理及优势预测.....	(22)
一、杂种优势机理.....	22
二、水稻杂种优势的预测研究.....	25
第三章 水稻“三系”	(29)
第一节 水稻“三系”概念及其相互关系.....	(29)

一、雄性不育系	29	三、雄性不育恢复系	30
二、雄性不育保持系	29	四、“三系”的相互关系	30
第二节 水稻雄性不育的生物学特性和类型	(31)		
一、水稻雄性不育的细胞形态学	31	性	50
二、水稻雄性不育类型及其特征特		三、生理生化成分与不育	53
第三节 水稻雄性不育遗传理论	(57)		
一、水稻雄性不育遗传机理假说	58	二、从三系育种实践看雄性不育遗传机理	62
第四章 水稻雄性不育系及其保持系的选育	(65)		
第一节 水稻雄性不育株产生的主要途径	(65)		
一、远缘杂交	65	间杂交	67
二、地理上远距离的或不同生态型品种		三、人工引变和自然不育株的利用	68
第二节 稳定不育性的途径和方法	(69)		
一、稳定不育性的原理	69	定	69
二、人工杂交和天然异交不育株的稳		三、不育系的转育	73
第三节 优良不育系的标准及其保持系的选育	(74)		
一、优良不育系的标准	74	二、保持系的选育	75
第四节 我国几类主要不育系的选育及其代表型不育系简介	(77)		
一、野栽交选育的不育系	77	不育系的选育	83
二、籼稻品种间杂交选育的不育系	80	四、红莲型不育系的选育	84
三、亚种间杂交不育系——BT型和滇一型			
第五章 水稻雄性不育恢复系的选育	(86)		
第一节 水稻育性基因的遗传	(86)		
一、育性基因的遗传	86	件的关系	91
二、育性表现与双亲遗传背景及环境条		三、恢复基因的定位	93
第二节 恢复系的测交筛选	(95)		
一、选择亲本	95	二、选育步骤	96
第三节 恢复系的杂交选育	(96)		
一、杂交亲本的选择原则	96	二、杂交选育的方法	97
第四节 优良恢复系的标准及主要恢复系简介	(104)		
一、优良恢复系的标准	104	二、主要恢复系简介	105
第六章 优良组合的选配	(108)		
第一节 优良组合的选配原则	(108)		
一、选择遗传物质差异大的双亲配组	108	三、选择穗粒性状优良的双亲配组	109
二、选择农艺性状互补的双亲配组	108	四、选择配合力好的双亲配组	109
第二节 抗性组合的选育	(110)		
一、杂交水稻(F_1)抗性的表现	110	三、杂交水稻抗性组合的选育技术	115
二、抗性机制	112		
第三节 优质米组合的选育	(120)		
一、杂交水稻稻米品质状况	120	三、优质米组合的选育	125
二、稻米品质的遗传	123		

第四节 超高产组合的选育	(126)
一、超高产育种的理论依据	128
二、途径和方法	129
第五节 杂交水稻育种程序	(131)
一、第一阶段——“三系”选育	132
二、第二阶段——杂种优势鉴定	132
第六节 优良组合介绍	(133)
一、籼型杂交组合	133
二、粳型杂交组合	136
第七章 化学杀雄	(139)
第一节 水稻化学杀雄剂的筛选	(140)
一、供筛选药剂的选择	140
二、杀雄剂筛选的一般方法	140
三、植物化学杀雄剂的分类及其杀雄特性	140
第二节 化学杀雄剂选择杀雄活性的评价	(142)
一、评价方法	142
二、评价实例	143
第三节 杀雄剂的化学结构与杀雄活性	(143)
一、有机肿酸及其衍生物	143
二、氨基磺酸与氨基苯磺酸的衍生物	145
三、卤代乙酸及其衍生物	146
第四节 化学杀雄剂的作用机理	(146)
一、甲基肿类化合物	146
二、氨基磺酸及其盐	147
三、氟乙酸及其衍生物	148
第五节 化学杀雄在杂交水稻生产中的应用	(148)
一、水稻化学杀雄制种技术	148
二、化学杀雄制种实例	154
三、化学杀雄杂交水稻在生产上应用概况	155
第八章 三系原种生产	(156)
第一节 三系混杂退化的表现和原因	(156)
一、三系混杂退化的表现	156
二、三系混杂退化对生产的影响	156
三、三系混杂退化的原因	157
第二节 三系原种生产的目标和体制	(158)
一、三系原种生产的任务	158
二、三系原种生产的标准	158
三、三系原种生产的生产体制	159
第三节 三系原种生产的方法和程序	(159)
一、分步提纯法	160
二、配套提纯法	161
三、简易提纯法	164
第四节 三系原种生产的主要技术环节	(168)
一、单株选择	168
二、严格隔离	168
三、育性鉴定	168
四、三圃的设置	169
五、三圃的季节安排	169
六、测交与优势鉴定	169
七、混系与单系	170
八、评选标准	170
九、原种生产中的繁殖、制种技术	170
第九章 杂交水稻的制种	(172)
第一节 安全扬花与花期相遇	(172)
一、安全扬花	172
二、花期相遇	173
第二节 合理的苗穗结构	(188)
一、高产的群体结构	188
二、建立高产群体结构的措施	189

第三节 田间管理.....	(193)
一、育秧阶段的管理 193	
二、分蘖阶段的管理 195	
三、拔节长穗阶段的管理 196	
四、抽穗成熟阶段的管理 196	
第四节 花期预测和调节.....	(197)
一、花期预测的方法 197	
二、花期调节 200	
第五节 提高异交结实率.....	(200)
一、提高穗粒外露率 200	
二、调节花时 209	
三、人工辅助授粉 210	
第六节 防杂保纯.....	(210)
一、严格隔离 210	
二、严格去杂 211	
三、严格操作 211	
第十章 不育系的繁殖.....	(212)
第一节 不育系繁殖的特点.....	(212)
第二节 不育系繁殖的技术要点.....	(212)
一、适时播种,确保安全扬花授粉 212	
二、培育分蘖壮秧,建立高产群体 213	
三、改善授粉条件,提高异交结实率 214	
四、防杂保纯,保证种子质量 214	
第十一章 种子的精选加工和贮藏保管.....	(216)
第一节 种子的精选加工.....	(216)
一、农户初选 216	
二、机械精选 216	
三、认真组织,防杂保纯 217	
第二节 种子的贮藏保管.....	(217)
一、选好种子仓库,备齐器材用品 217	
二、严格种子质量,做好铺垫防潮工	作 217
三、加强仓库管理,确保安全贮藏 218	
第十二章 杂交水稻的形态结构.....	(220)
第一节 根.....	(220)
一、根的形态 220	
二、根的解剖结构 220	
第二节 茎.....	(222)
一、茎的形态 222	
二、茎的解剖结构 223	
第三节 叶.....	(225)
一、叶的形态 225	
二、叶的构造 226	
第四节 花.....	(228)
一、花序的形态及其组成 228	
二、颖花的构造 229	
第五节 种子.....	(230)
一、果皮和种皮 230	
二、胚 231	
三、胚乳 231	
第六节 稻株各器官的相互关系和整体性.....	(232)
一、叶与蘖的关系 232	
二、叶与茎秆的关系 232	
三、根与叶的关系 232	
四、根、叶与结实器官的关系 233	
第十三章 杂交水稻的生长发育.....	(234)
第一节 感光性、感温性及基本营养生长性.....	(234)

一、杂交水稻的发育特性	234	三、杂交水稻的感温性	237
二、杂交水稻的感光性	234	四、杂交水稻的高温短日生育期	238
第二节 生长发育时期	(239)		
一、杂交水稻不同组合的生长发育时 期	239	变化	244
二、营养生长期与生殖生长期的重叠及			
三、碳氮代谢的主要时段划分	244		
第三节 稻株的器官建成	(246)		
一、发芽和幼苗生长	246	五、根的生长	259
二、叶的生长	248	六、穗的发育	262
三、分蘖	252	七、开花受精与结实	267
四、茎的生长	257		
第四节 产量形成过程	(270)		
一、穗数的形成	270	三、结实率	270
二、颖花数的决定	270	四、千粒重	272
第十四章 杂交水稻的生理	(273)		
第一节 光合作用	(273)		
一、杂交水稻的光合性能	273	率	277
二、提高杂交水稻群体的光能利用			
第二节 杂交水稻的呼吸作用和光呼吸	(279)		
一、杂交水稻呼吸作用的特点	279	二、杂交水稻光呼吸的研究	281
第三节 矿质营养	(283)		
一、水稻必需的矿质元素	283	三、杂交水稻对氮、磷、钾元素 的吸收利用	286
二、水稻对矿质养分的吸收与运转	285		
第四节 杂交水稻根系活力特点	(292)		
一、根群量	292	五、根的通气压	294
二、发根能力	293	六、根系对 ³² P的吸收	295
三、根系的份流强度	293	七、根系合成氨基酸的能力	296
四、根系活力	293	八、幼根中RNA含量	296
第五节 干物质积累、转运和分配	(296)		
一、干物质的积累	296	二、干物质的转运和分配	297
第六节 “源”“库”关系	(299)		
一、杂交水稻“源”“库”的生理特 点	299	三、影响“源”、“库”协调的主要 生态因子	304
二、杂交水稻的“源”“库”关系	302	四、“源”、“库”关系的调控	306
第十五章 杂交水稻的栽培技术	(308)		
第一节 杂交水稻组合的选择和搭配	(308)		
一、组合选择和搭配的意义	308	和搭配	309
二、组合选择的标准和搭配的原 则	309	四、一季稻区杂交水稻组合的选择	313
三、双季稻区杂交水稻组合的选择			
五、其它耕作制度对杂交水稻 组合的选择要求	314		
第二节 培育壮秧	(314)		
一、壮秧的标准及其增产作用	314	二、适宜的播种期与大田用种量的	

确定	318	四、秧田扯秧留苗栽培法	323
三、培育分蘖壮秧的主要措施	320		
第三节 增施肥料	(324)		
一、适量增施氮肥	324	三、增施有机肥	327
二、增施钾肥	327	四、协调施肥比例	328
第四节 合理密植	(329)		
一、插足基本苗	330	二、采用适宜的栽插规格	334
第五节 合理促控, 适时收割	(336)		
一、插秧至分蘖盛期阶段	336	三、孕穗期后至成熟阶段	339
二、分蘖盛期末至孕穗阶段	337	四、适时收割	341
第六节 规范栽培在杂交水稻生产上的应用	(341)		
一、叶龄模式的研究	343	图的编制	346
二、杂交水稻高产栽培模式			
第七节 病虫害防治	(347)		
一、杂交水稻的主要病虫害及其发生特点	347	三、配制选用抗病虫害性强的杂交组合	349
二、建立健全种子检疫制度	349	四、综合防治措施	349
第八节 杂交水稻旱种技术	(352)		
一、南方杂交籼稻旱种技术	352	二、北方杂交粳稻旱种技术	354
主要参考文献	(357)		
后 记	(363)		

第一章 概 述

中国是世界上第一个成功地利用水稻杂种优势的国家。杂交水稻的培育成功，是水稻育种上的一项重大突破，也是水稻生产上的一项重大技术改革，它为大幅度提高水稻产量提供了有效的途径。

我国是世界最大的稻米生产国，水稻生产在粮食生产中占有举足轻重的地位。全国水稻播种面积不到粮食作物总面积的30%，但产量占粮食总产量的44%。

建国前，我国农田的水利设施差，肥料施用量少，经营管理粗放，产量不高。1949年建国前夕，全国水稻播种面积3.8亿亩，总产量486亿公斤，单产只127.3公斤。建国后，在党和人民政府的领导下，我国水稻生产得到了很大的发展。至1985年，全国水稻播种面积4.77576亿亩，总产量1680.3亿公斤，单产351.5公斤。与1949年相比，播种面积增长了26%，总产量增长了2.45倍，单产增长了1.76倍。

我国水稻生产能得到如此迅速发展的原因，除大兴农田基本建设、改善排灌条件、增加肥料投资外，最重要的是在水稻科学研究和生产技术上进行了三次大的改革。一是50年代初，我国农业科研工作者，采取系统选种等方法，选育了一批优良的早稻和晚稻品种。这些品种在生产上的应用，使我国水稻主产区——华东和华中的一季稻改为双季稻，总产量大大增加，单产也有相应的提高；二是60年代初，我国农业科研工作者又采取矮秆化育种的方法，培育了一大批耐肥抗倒、适合密植的矮秆良种。这些矮秆良种在生产上的推广应用，一季亩产增加50~100公斤，单产得到显著提高；三是70年代初，我国农业科研工作者对水稻杂种优势利用进行了大量的研究工作，在较短的时间内育成了具有实用价值的强优势杂交水稻。这种强优势杂交水稻在生产上的推广应用，每亩产量在原有的基础上又提高20%左右，从而使我国的水稻生产出现了更新的局面。

第一节 水稻杂种优势利用研究概况

杂种优势是生物界中的一种普遍现象。我国劳动人民在长期的农业生产实践中，对杂种优势早就有所认识和利用。在公元584年前后贾思勰著的《齐民要术》一书中，就记载了马和驴的杂交后代骡子，在适劳役、耐粗饲等方面具有超亲优势。公元1637年出版的《天工开物》一书，也叙述了养蚕业利用杂种优势的事实。其它古籍中还有不少类似记载。可见我国是发现和利用生物杂种优势比较早的国家。

人们开始注意植物的杂种优势是在18世纪30年代,1763年德国学者科尔鲁特(Kolreuter)研究的菸草的杂种优势可用于生产。1866~1876年,进化论的创始人达尔文(Darwin)广泛研究了植物异花受精和自花受精的变异情况后,首先指出玉米具有杂种优势。接着,沙尔(G·H·Shull)也注意到玉米自交衰退、杂交有利的现象,并于1914年把此现象称为“杂种优势”。20世纪中叶,玉米杂种优势在农业生产上得到大量应用,单位面积产量大幅度提高。从此以后,植物的杂种优势利用越来越广泛,目前已有二十多种大田作物和蔬菜得到利用。

水稻杂种优势利用的研究始于19世纪。1926年,美国的琼斯(J·W·Jones)首先提出水稻具有杂种优势,从而引起了各国育种家的重视。30~50年代,印度的克丹姆(B·S·Kadem, 1937年)、马来西亚的布朗(F·B·Broun, 1953)、巴基斯坦的艾利姆(A·Alim, 1957)、日本的冈田子宽(1958)等都有过关于水稻杂种优势的研究报道。50~60年代,由于玉米、高粱杂种优势在生产上的应用,从而使水稻杂种优势利用的研究更为活跃起来。开展水稻杂种优势利用研究工作的有中国、美国、日本、印度、菲律宾、巴基斯坦、马来西亚、苏联、意大利、南朝鲜等国家或地区,并涌现出一批卓有成效的研究人员。如中国的袁隆平、日本的新城长友等。

科学家对水稻杂种优势利用的研究,首先是从不育系的选育开始的。1958年,日本东北大学的胜尾清用中国红芒野生稻与日本粳稻“藤坂5号”杂交,经连续回交后,育成了具有中国红芒野生稻细胞质的藤坂5号不育系。1966年日本琉球大学的新城长友用印度春稻“钦苏拉包罗II”与中国粳稻“台中65”杂交,经连续回交后,育成了具有“钦苏拉包罗II”细胞质的“台中65”不育系。1968年,日本农业技术研究所的度边用缅甸籼稻“里德稻”与日本粳稻“藤坂5号”杂交,育成了具有缅甸“里德稻”细胞质的藤坂5号不育系。1969年,美国加利福尼亚大学的埃里克森(J·R·Erichson)等用我国台湾省品种“白壳”(Bir—Co)和“非洲光稃稻”(O·glaberyemustud)为母本,分别与加利福尼亚粳稻“卡尔罗斯”(Calrose)、“卡罗柔”(Caloro)、“科卢萨”(Colusa)杂交,发现白壳和非洲光稃稻都有导致加利福尼亚粳稻雄性不育的细胞质。1972年,菲律宾国际水稻研究所的阿斯华尔(D·S·Athwal)和费马尼(S·S·Virmani)以“台中本地1号”为母本,与“朋克哈里203”(Pankhari 203)杂交,发现“台中本地1号”有导致“朋克哈里203”雄性不育的细胞质。

我国杂交水稻研究工作者、湖南省安江农校袁隆平,从1964年开始研究水稻杂种优势的利用。1970年,袁隆平的合作者李必湖从我国海南岛崖县普通野生稻(*O·rufipogon* Griff 或 *O·Sativa* F·Sponta-neu)群落中,找到了花粉败育型不育材料。1972年,江西颜隆安、湖南袁隆平等采用这一材料育成了珍汕97、二九南1号等不育系及其保持系。1973年,广西张先程、湖南袁隆平等先后测得IR24对普通野生稻不育细胞质具有有效的恢复力,便育成了恢复系,从而成功地实现了“三系”配套,使水稻杂种优势在生产上的利用付诸现实,取得了很大的经济效益和社会效益。1981年,国家授予了籼型杂交水稻特等发明奖。

第二节 我国水稻杂种优势利用的伟大成就

杂交水稻是我国科学技术上的一项重大发明,十多年来,我国在水稻杂种优势利用方面取得了伟大的成就。

一、育成了不同类型的“三系”

“三系”是水稻杂种优势利用的基础。不育系是“三系”选育的第一步。不育系的选育,一

是应用远缘杂交(包括种间杂交和籼粳亚种间杂交)、地理远距离及不同生态类型品种间杂交,自然突变和人工引变获取不育株,然后应用核置换的原理,多代回交,育成不育系;二是对已育成的不育系,采用测交、择优回交或同步稳定转育的方法,选育适合于栽培目的的新不育系。目前我国已经育成的不育系有五大类群。一是野败型不育系,它是由海南岛普通野生稻与栽培稻杂交而成,是我国育成最早、应用最广、推广面积最大的一个类型。这个类群的不育系达200个以上,最具有代表性的有V20不育系、珍汕97不育系等。二是冈型和D型不育系。冈型是用冈比亚卡与矮脚南特杂交选育而成的。属于这一类型的有冈型朝阳1号不育系等;D型是Dissi与珍汕97杂交选育的,属于这一类型的有D汕不育系等。三是包台型不育系,它是引自日本、由我国转育而成的,属于这一类型的有黎明不育系、农虎26不育系等。四是滇一型不育系,它是以台北8号中的天然籼粳、粳籼杂交后代与红帽缨杂交育成的一批不育系。五是红莲型不育系,它是由红芒野生稻和早籼莲塘早杂交育成。

不育系是保持系的同核异质体。一个新的不育系的选育成功,同时也获得了相应的保持系。

恢复系的选育,主要是应用测交筛选和杂交选育两种方法。早期以测交筛选为主,采用初测、复测、配合力测定的方法;后期以人工制恢、杂交选育为主,采用一次杂交法或复式杂交法。目前我国已经育成的恢复系有IR24、IR26、测64、明恢63、30选、C57等。

我国选育的不育系,具有不育性稳定、可恢复性强、开花习性和配合力好、适应性广的特点;保持系具在保持力和配合力强、经济性状好的特点;恢复系具有恢复力强、配合力和丰产性好、花粉量大、抗性较好、适应性广的特点。这些为杂交水稻的大面积推广创造了良好的条件。

二、选配了一批强优组合

水稻杂种优势利用能否获得最大经济效益,其关键是选配优质、高产、多抗的强优组合。我国杂交水稻科研工作者做了大量的配组测定工作,选配出了一批亩产500公斤以上的强优组合。最早选配出的有南优、汕优、威优、四优四大系统的组合。其中,南优6号、汕优2号、汕优6号、威优6号、四优6号等增产更为显著,已在南方各稻区广泛栽培,并于70年代后期被引入美国,逐渐传播到许多国家。近几年来,强优组合的选配,已不局限于形态、生理、产量优势三方面,对抗性和品质等多种优势的综合利用上也进行了研究,并先后选配出了威优35、威优64、汕优63等一批不仅产量高,而且抗性好或米质好的新组合。

通过大量组合的选配,总结出了选配强优组合的基本原则:一是选择遗传物质差异大的双亲配组;二是选择农艺性状互补的双亲配组;三是选择配合力效应好的双亲配组。实践证明,这些原则是正确的。

三、形成了一套繁殖、制种技术

繁殖(不育系)和制种(配制杂交种子),是杂交水稻生产不同于常规水稻生产的显著之点。繁殖、制种生产的种子,其质量和数量,是杂交水稻赖以推广和扩大栽培面积的重要环节。十多年来,我国科研工作者通过实践,已经形成了一套繁殖、制种技术体系。繁殖、制种的产量,从每亩5公斤上升到100多公斤,从而推动了杂交水稻的迅速发展。

杂交水稻制种的成败,关键是保证父母本安全扬花和花期相遇。通过对水稻“三系”开花习性与气候条件的关系的观察,摸清了父母本安全扬花的理想气候条件。根据各地不同情况合理安排生产季节,确定适宜的播种期,使父母本安全扬花。由于父母本的生育期有差异,

所以要根据制种的不同季节、不同组合，采取时差推算法、叶差推算法、温差推算法等方法，推算出父母本的播种差期，并在制种过程中做好花期的预测和调节工作，使父母本花期相遇。

建立一个高产的群体结构是争取制种高产的一项重要技术措施。在生产上，要稀播匀播，培育分蘖壮秧，适当密植，合理确定父母本的行比、栽插株数及种植方式，插足母本基本苗，加强田间管理，合理施肥，合理灌溉，防治病虫害，防杂保纯，提高制种产量。

提高异交结实率是争取制种高产的又一项重要技术措施。要采取定向培育、不割叶不剥苞，适时适量适法喷洒“九二〇”的方法，提高柱头外露率和穗粒外露率；采取东西行向，加强抽穗扬花期水分管理，母本赶露水等措施，调节父母本花时；并加强人工辅助授粉，扩大散粉范围，提高授粉效果，以提高异交结实率。

不育系繁殖和制种比较，主要环节基本相似。其特点是：不育系与保持系株高较一致，生育期相差不大，不育系比保持系分蘖力强，长势旺盛。根据这些特点，主要采取春繁，培育分蘖壮秧，搞好群体布局；协调父母本平衡生长；改善授粉条件，提高异交结实率；防杂保纯，保证种子质量等技术措施。

为了解决“三系”种子混杂退化，研究并提出了“三系”原种生产的质量标准、体制、方法及程序。

四、创造了高产栽培经验

在杂交水稻的推广应用中，我国各地创造了许多高产栽培经验，概括起来，主要是以下四个方面。

（一）优良组合的选择和搭配

优良组合的标准，应该是丰产性能好、抗性强、米质优、适应当地的种植制度，并且容易制种、繁殖。组合搭配，包括早、晚稻的组合搭配及同一季别（包括一季稻）早、中、迟熟组合的搭配。搭配的原则：一要注意合理利用当地的光、温条件。一季杂交水稻要求在最佳的光温条件下抽穗扬花，双季杂交水稻要求充分而合理地利用当地双季稻的安全生育期和积温，使两季高产，全年丰收。品种（组合）搭配要防止单一化，特别是双季稻区要求多采用早、晚稻搭配方式，用以缓和“双抢”时季节和劳力紧张的矛盾。至于具体的搭配方式，应根据这个原则，按照不同地区的光、温条件和不同熟期组合的特性等具体情况制订。

（二）在穗大粒多的基础上争多穗

杂交水稻虽然穗大粒多，在有效穗比常规水稻较少的情况下可获高产。但是在产量构成诸因素中，穗数仍是增产的重要基础。杂交水稻要亩产500公斤以上，作一季稻栽培，大穗型组合需有效穗18万以上；作双季稻栽培，大穗型组合需有效穗20万左右，中穗型组合需有效穗25万左右。争多穗的可靠途径是把插足基本苗和合理利用分蘖有机地结合起来，使基本苗成穗占总穗数的30~40%。因此，栽培上要在培育分蘖壮秧、施足基肥的基础上合理密植，并插足基本苗，然后在禾苗返青后，采用浅水勤灌、适量早施氮钾肥等措施，促使禾苗早生快发，早分蘖，多分蘖，为争多穗打下良好基础。

（三）确定安全齐穗期

杂交水稻的亲本大多属感温类型，对温度的变化十分敏感。这些特性反映到杂交水稻上就直接影响到它的安全齐穗问题。因此安全齐穗期的确定，对避开高低温的不利影响，提高结实率，有非常重要的作用。湖南的研究表明，杂交早稻的安全齐穗期应避开7月高温逼熟的危害，作中稻栽培则应以7月下旬到8月初为安全齐穗期，作连晚栽培的安全齐穗期湘北为

9月8日~9月10日，湘中为9月15日左右，湘东南为9月17日~9月20日。

(四)提高后期管理水平

杂交水稻进入生殖生长期后，为了协调个体与个体、器官与器官的矛盾，以保证有效穗并提高结实率，需要在栽培上采取一系列与常规水稻不同的技术措施。一是适时露田或轻晒田；二是看苗施用穗肥；三是孕穗期后灌好保胎水。孕穗期后至成熟阶段，抽穗扬花期要灌深水以防高低温危害；并进行人工辅助授粉，喷施“九二〇”，以提早开花结实；喷施叶面肥，浅水勤灌，以保证籽粒壮实。

五、基础理论研究取得了较大进展

(一)水稻雄性不育的生物学基础

我国水稻雄性不育的细胞学研究始于1971年。其结果表明，水稻雄性不育的花粉一般从造孢细胞增殖起就发生败育，按败育的时期不同可分为无花粉型、单核败育型、双核败育型和三核败育型四种，这些类型各有其特点。这种分类法使早期“圆败”、“典败”的分类深入化了。经对不育系的研究说明：单核、双核、三核三种败育类型，与不育系在恢、保持性以及孢子体不育和配子体不育方面的遗传特性存在相关性，已育成的稳定不育系的花粉败育途径和杂交亲本的亲缘关系有关；不同的花粉败育类型，其遗传基础也不同，败育途径和方式的多样化，反映了不育系的多样性和复杂性。细胞学的研究还表明，毡绒层的异常发育是雄性不育不同类型花粉败育的诱因，花粉退化与药隔维管束的发育异常也有关。

水稻雄性不育的类型，除按上述方法分类外，还可以按恢、保关系分类，按细胞质源分类，按质核互作雄性不育的遗传实质分类。

对不育系和育性正常的稻株的生理生化分析表明，两者比较，在花粉内含物如淀粉、蛋白质、氨基酸、可溶性糖的含量方面有明显的差异，花粉中各种酶的活性的高低也各不相同。花粉中酶活性的情况在一定的程度上反映了花粉发育的状况。

(二)杂交水稻的生长发育特性

杂交水稻的生长发育特性和常规水稻有一定的差别。杂交水稻的感光性一般较其亲本强，少数的表现为中间偏弱；感温性通常是中间偏强；高温短日生育期常在1~4级之间。在遗传上，这种短对长表现为显性。

杂交水稻生长发育过程中的碳氮代谢也有其特点。但分蘖末期至齐穗这一阶段中碳氮代谢的变化情况尤应引起重视。因为它对杂交水稻高产影响很大。

在杂交水稻器官建成的观察中，发现杂交水稻芽期和幼苗期的生命活动特别旺盛，叶片的长、宽度都较常规水稻大，维管束也明显地多于常规水稻。杂交水稻根系不仅粗、长、多，而且其生活力很强。杂交水稻的分蘖建成，也有其快而多的特点。正是杂交水稻的这些特点，表现出形态上的优势。而这种形态器官的优势，则是产量优势的基础。

(三)杂交水稻的生理

研究表明，杂交水稻在一系列生理问题上都表现出较常规水稻突出。杂交水稻的光合性能，有叶绿素含量多、光合强度高、光合面积大、光合势强、同化产物的运转效率高等特点，但杂交水稻光能利用率却比常规品种稍低。对杂交水稻呼吸作用和光呼吸研究的结果还表明，杂交水稻种子萌发时的呼吸强度明显地较常规稻种低，各功能叶的呼吸强度从分蘖盛期到乳熟期，总的趋势是上升的，但其强度较其亲本低。这都说明杂交水稻以较少量的消耗能赢得较多的光合积累。就光呼吸来说，杂交水稻从孕穗期到乳熟期表现出乙醇酸氧化酶活性较常

规水稻低，同时，其光呼吸强度和 CO_2 补偿点也低于常规水稻。

关于杂交水稻的营养生理，研究结果表明，它在对养分的吸收、运转和分配上都较常规水稻强。它在齐穗后吸收的氮占总量的24.6%，高于常规水稻；在各个生长期吸收利用磷的数量都较常规水稻多；对钾的吸收更为强烈，吸收的数量既高于常规水稻，也高于自身对氮的吸收。因此说杂交水稻各生育期的干物质含钾量较高，且在齐穗后还能吸收钾。这些研究正是杂交水稻产量为何高于常规水稻的物质上的说明。

杂交水稻用水较常规水稻经济，但是，从齐穗到乳熟期的水分供应显得较常规水稻重要。这个时期，是杂交水稻对水很敏感的时期。

对杂交水稻根系活力的生理性研究表明，杂交水稻发根能力强，根群量大，根系的伤流量显著地超过常规水稻及其亲本。衡量根系活力的几个指标，如老化系数、 α -萘胺氧化值都胜于常规水稻。此外，还研究了根系的通气，根系对磷的吸收，根系合成氨基酸的能力，幼根中RNA的含量，干物质的积累、转运和分配等，这些都反映出杂交水稻的优势。

在杂交水稻营养生理的研究中，还提出并探讨了“库”、“源”关系。认为杂交水稻“源”的特点是营养生长的优势显著，具有较高的净同化率，生育前中期光合速率高，干物质生产能力大等特点。而“库”则有颖花数多，库容量大，结实率高，籽粒灌浆期长，有两个明显的高峰等特点。

“库”和“源”之间关系密切。而对这种关系影响较大的是生态因子，尤以温度为甚，提出要用基因调控、化学调控、技术调控等手段来协调“库”、“源”关系，以提高杂交水稻的增产能力。

（四）杂交水稻优势及经济性状遗传

面对杂交水稻具有形态、生理及产量三大优势，科技人员在优势产生的原因和预测方法等方面作了一些探索。对杂种一代优势的遗传相关分析表明，杂交水稻在平均优势、超亲优势和竞争优势等方面，不仅显著地超过亲本，而且也超过当家良种。对主要经济性状的遗传研究表明，一般表现为数量性状，但也有质量性状的。生育期受双亲生态条件的影响大，表现复杂。株型中的松散型，对籼稻来说遗传仍是受显性单基因控制，而粳稻则相反，粒型、粒重遗传比较复杂，有各种不同情况。此外还就杂种优势的世代遗传问题作了同工酶分析，对柱头外露率的遗传也进行了相应的研究，并取得了一定的结果。

（五）恢复因子的遗传

三系的遗传问题，研究得比较多的是恢复因子的遗传。研究结果认为育性的恢复属质量性状。野败型恢复系有两对基因，而且显性恢复基因具有明显的剂量效应或累加效应，两对杂交基因既可聚合也可分离，其恢复力似有强弱之分。包台型恢复系（包括红莲型）育性恢复属简单遗传。同时还认为育性恢复与双亲的遗传背景及环境，如恢复系的恢复力，不育系的可恢复性以及气候条件等有密切的关系。

总之，杂交水稻基础理论的研究，随着水稻杂种优势利用的不断深入，其研究的领域在不断扩大，研究的深度在不断增加，越来越接近于阐明水稻杂种优势利用的有关机理；反过来，又将促进水稻杂种优势利用的不断前进。