

超级杂交稻育种三步法设想与实践

陈立云 肖应辉 唐文帮 雷东阳

(湖南农业大学 水稻科学研究所, 湖南 长沙 410128; E-mail: chenliyun996@163.com)

Prospect and Practice of Three Procedure Breeding on Super Hybrid Rice

CHEN Liyun, XIAO Yinghui, TANG Wenbang, LEI Dongyang

(Rice Research Institute, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; E-mail: chenliyun996@163.com)

Abstract: The status of super hybrid rice breeding program in China and other countries were both reviewed. There were three main problems in super rice breeding in China, including: 1) the scarcity of super rice varieties, 2) poor adaptation of super hybrid rice combination, 3) current breeding theories put too much emphasis on the rice growth model, and lack in practicability for guiding rice breeding. According to the author's experience on rice breeding, the breeding strategy, which involved in three procedures, were proposed. The objective of each procedure and the key technologies for achieving the goals were elucidated in detail. The super parent of hybrid rice should exhibit a comprehensive excellent performance, with the yield or sink capacity equal to the hybrid rice control in regional yield trial. The super hybrid rice combination should meet the following criteria, including high rice quality, wide adaptation, lodging resistance, main insects and diseases resistance, and a yield increase above 8% compared with the control varieties in regional yield trial. Through optimal combination of the parents, increasing selection pressure, and paying more attention to harmony on ideal type, excellent physiological function and all the agronomic traits, the goals of super hybrid rice should be achieved. The yield of hybrid rice seed production should reach 3.75 t/hm² and 5.25 t/hm² for early season and middle season type of male sterile line, respectively. The main technologies included selection of optimal ecological site, use of the male sterile line with large sink capacity and good outcrossing characteristics, and increased amount of the pollen by intensive cultivation of the male parent. According to the breeding technologies, two super rice parents, including a male parent 996 and a T(P)GMS C815S, were bred. The super hybrid rice combination, Luliangyou 996, which can be used as a double season early rice variety in middle and lower reaches of Changjiang River, China, was bred by using the super rice variety 996 as the male parent. Several hybrid rice combinations, with higher yield than control varieties both in Hunan provincial and national regional yield trials, were bred with the T(P)GMS C815S as the male parent.

Key words: super hybrid rice; breeding strategy; super parent; hybrid rice seed production

摘要: 介绍了国内外水稻超高产育种的基本情况,提出了当前我国水稻超高产育种面临的新问题,即超级稻品种资源匮乏、部分超级杂交稻组合适应性较差、超高产水稻育种理论过于模式化等。针对当前形势,结合多年育种实践,提出了超级杂交稻育种三步法设想,即超级亲本选育——超级杂交组合选育——超级杂交制种,并详细阐述了各步骤的标准和实现其目标的技术路线。超级亲本要求综合性状优良,产量水平或库容量达到或基本达到各级区试对照杂交稻组合的水平。超级杂交稻组合的标准是品质优、适应性广、耐肥抗倒、对主要病虫害达中抗以上水平,产量水平较国家或省区试中对照增产8%左右。其选育的技术路线是通过双亲最佳组配方式,增加选择压力,注重理想株型和优良生理机能及其各性状间的高度协调。超级杂交制种产量水平根据不育系的类型来确定,其中早稻类型不育系杂交制种产量要求大面积达到3.75 t/hm²以上,中稻类型的不育系要求达到5.25 t/hm²以上。其技术路线是通过选择最佳的制种基地,选用库容量大和异交结实特性好的不育系,通过超大大行比与超常规培育父本措施提高父本的花粉量,从而提高制种产量。按照超级杂交稻育种三步法的技术路线,成功选育了父本996和两用核不育系C815S两个超级杂交稻亲本,利用前者选育出适合长江中下游稻区作双季早稻种植的超级杂交早稻组合陆两优996,用后者选配出几个增产幅度大、极有应用前景的超级稻新组合。

关键词: 超级杂交稻; 育种思路; 超级亲本; 杂交制种

中图分类号: S511.03

文献标识码: A

文章编号: 1001-7216(2007)01-0090-05

粮食安全是世界各国政府十分关注和急需解决的首要问题。中国是一个拥有13亿人口的农业大国和发展中国家,粮食安全始终是中国的重大战略问题。满足广大城乡居民粮食消费的需求,始终是关系国计民生、经济与社会发展、政治稳定的头等大事,是我国经济和社会全面、和谐、可持续发展的基础。

水稻作为我国种植面积最大的粮食作物,对于我国粮食安全问题起到了举足轻重的作用。但是,由于耕地面积持续减少和总体水资源严重不足,目前我国水稻种植面积已呈不可逆的逐年递减态势。

因此,培育和推广广适性的超级杂交稻新组合,大幅度提高单位面积产量,已成为增加水稻总产的唯一途径,也是从根本上解决我国粮食供求矛盾,保障国家粮食安全和维护社会长治久安的重要出路。

1 超高产水稻育种历史回顾

国内外对水稻超高产育种研究给予了高度重

收稿日期: 2006-05-15; 修改稿收到日期: 2006-08-04。

基金项目: 国家农业科技成果转化资金资助项目(05EFN214300193); 湖南省自然科学基金重点项目(03JJY3033)。

第一作者简介: 陈立云(1949-), 男, 研究员。

视。早在1981年,日本就提出水稻超高产育种设想,并制定了“超高产水稻的开发及栽培技术确立”这一大型国家攻关研究项目,即“逆753计划”。该计划旨在通过选育产量潜力高的水稻新品种,再辅之以相应的栽培技术措施,实现中低产地区水稻糙米产量达到 $7\ 500\sim 9\ 800\text{ kg/hm}^2$,高产地区达到 $10\ 000\text{ kg/hm}^2$ 以上,15年内单产比对照品种增产50%的超高产目标^[1]。在随后的8年时间内,育成了明之星、秋力等5个水稻品种,其小面积产量已接近 $10\ 000\text{ kg/hm}^2$,但因这些品种大多在抗寒性、品质和结实率方面存在问题,而未大面积推广^[2]。国际水稻研究所也于1989年提出了培育“超级稻”(后又改称“新株型”)的育种计划,其目标是到2005年育成单产潜力较当时推广品种提高20%~30%,产量潜力达 $13\ 000\sim 15\ 000\text{ kg/hm}^2$ 的超级稻新品种。育成的部分新品系大多具有少蘖、大穗、壮秆、直立叶、库大粒多、产量潜力高的特点,但仍存在籽粒不饱满、结实率低、生物产量不足、主要病虫害抗性较差等明显缺陷^[3]。

中国超级稻育种计划于1996年正式启动,其相对产量指标是比当时对照品种增产15%以上,2000年较大面积稳定实现单产 $9.0\sim 10.5\text{ t/hm}^2$,到2005年单产达 12 t/hm^2 ^[4]。袁隆平院士提出超高产水稻的产量指标,应随时代、生态地区和种植季别而异,在育种计划中以单位面积的日产量作指标比较合理,建议在“九五”到“十五”期间我国超高产杂交水稻的育种指标是:每 1 hm^2 稻谷日产量为 100 kg ,米质要求达到部颁二级以上优质米标准,并且抗两种以上主要病虫害^[4]。经过众多水稻育种家和研究人员的协作攻关,迄今已育成以“两优培九”和“协优9308”为代表的超级稻20多个,在较大面积上单产水平超过 10.5 t/hm^2 ,比大面积当家杂交稻增产15%^[5-6]。这些杂交稻组合被誉为“超级杂交稻”,标志着我国超级稻育种已基本获得成功。

与水稻超高产育种实践相呼应,中国水稻育种家对水稻超高产育种理论和技术路线进行了卓有成效的探索。其中,最具代表性的有袁隆平院士提出的“形态改良与提高杂种优势水平相结合,辅之以利用野生稻有利基因”的超高产杂交育种模式^[4],杨守仁教授提出的北方粳稻“直立大穗”模式^[7]、黄耀祥院士提出的南方籼稻“半矮秆早生快长”模式^[8]、周开达院士提出的“重穗型”模式^[9]和程式华研究员提出的“后期功能型”模式^[10]等。这些育种模式对于我国杂交水稻超高产育种曾经或正在发挥重要

的指导作用。

2 超高产水稻育种面临的困难及存在的主要问题

自1996年启动“中国超级稻”计划以来,我国超级稻育种在短短10年间取得了世人瞩目的成就。然而,我们也应该清醒地认识到,当前超级稻品种资源仍然匮乏,尤其是缺少适合于南方稻区作双季早稻种植的超级稻品种^[11];此外,目前主推的某些超级杂交稻组合由于自身遗传不协调导致结实率低、产量稳定性差和适应性不广。这些问题严重制约了超级稻品种大面积推广种植。

另一方面,已有的超高产水稻育种模式,虽对我国杂交水稻高产育种和超级杂交稻的培育发挥了重要的指导作用,但随着育成水稻品种产量的逐步提高和育种研究的不断深入,这些理论还有待进一步完善与充实。当前的育种理论主要不足之处有三:其一是所有理论大多是基于杂种 F_1 的株叶形态特性提出的一种育种模式^[4,7,9],对于杂交稻亲本的选择认识不足,导致育种水平难以提高;其二是当前的育种理论只强调水稻的单一性状模式,忽视了水稻生长的整体协调性;第三,育种家们关注的仅是超级稻自身,对于育成的超级稻是否具有商业价值,能否安全高效生产亲本及杂交种子重视不够。

3 超级杂交稻研究的战略设想

笔者根据近年在水稻新两用核不育系、恢复系及超级杂交稻组合选育方面的经验,提出超级杂交稻研究的三步战略设想。

3.1 第一步:超级亲本选育

3.1.1 超级亲本概念的提出

自1908年Shull首次提出“杂种优势”术语以来^[12],对于杂种优势产生原因的解释主要有显性学说^[13]、超显性学说^[12]和亲缘学说等。杂种优势利用落实到育种实践中往往遵循的原则是:双亲的亲缘关系越远,杂种优势越强。然而,双亲亲缘关系愈远,往往导致杂种结实的稳定性愈差^[14-15]。

杂种优势概念仅从亲本与杂种 F_1 的性状表现关系方面阐述了杂种优势产生的遗传基础,杂种优势的计算公式通常也只考虑了杂种与亲本性状表现的数量关系,往往忽视了所配组合杂种优势的可利用价值。在杂种优势的评价方面,常采用超高亲优势、超中亲优势和生产优势等指标表述。然而,在育种实践中,超高亲、超中亲优势与生产优势的概念是

不完全相同的,一个超高亲优势或超中亲优势大的组合并不一定有生产优势,但如果亲本的性状水平达到生产对照种的水平,那么超亲优势越强,则生产优势就越大。

此外,在以往的研究中,往往过于强调亲本的一般配合力,而不太重视亲本性状的优良,其依据是杂种优势的产生是因双亲显性基因的累加(显性假说)或者基因的杂合性(超显性假说),也就是杂种优势并不遵循“水涨船高”的规律。但是,当杂交水稻从一般育种进入到超级育种阶段以后,单靠杂种优势的效应已难以满足超高产育种的要求。当前超级杂交稻育种必须在实现亲本性状的全面综合改良基础上,通过超级亲本的选育,并科学地利用杂种优势,才能实现超级杂交稻选育的重大突破。

3.1.2 超级亲本选育的标准

超级亲本选育标准应包括各方面的优良性状,但主要性状标准可概括如下:

1)农艺性状特别优良。强调母本矮秆,茎秆坚韧,株叶形态好,分蘖力强,生长量大,生物产量高。

2)经济性状特别优良。无论母本还是父本,都要求达到或基本达到各级区试现有对照杂交稻组合的产量水平或库容量。

3)一般配合力好。双亲要有适度的遗传距离。

4)不育系要求育性稳定,制种安全,繁殖高产稳产。温敏两用核不育系要求不育起点温度 22.5°C ;光温敏两用核不育系要求长光照条件下不育起点温度 $21\sim 22^{\circ}\text{C}$,短光照条件下不育起点温度 $23\sim 24^{\circ}\text{C}$,育性转换温度范围窄且需求的时间长(5 d 以上);冷灌或短日条件下冷灌繁殖不育系能获得高产。三系不育系育性不易受气候因素影响。

5)异交结实特性优良。母本要求柱头外露率高(70%以上),柱头生活力强,异交亲和力好,花时早而集中,受精后内外颖闭合好;父本则要求繁茂性好,花药发达,花粉量大,花粉生活力强。

6)稻米品质好。要求整精米率高(母本 50%以上,父本 60%以上),垩白粒率低(20%以下),直链淀粉含量中等(16%~24%),适口性好。

7)抗性好。要求对稻瘟病达到中抗水平以上,对高温和低温阴雨有一定的耐性,稻粒黑粉病和纹枯病较轻。

3.1.3 超级亲本选育的成功范例

超级亲本的育成,为选育超级杂交稻提供了遗传工具。如笔者选育的水稻品种 996,2003 年参加湖南省区试预试,产量比对照金优 402 增产 4.3%,

其他性状亦非常优良;又如笔者选育的水稻两用核不育系 C815S,多年研究结果表明其库容量超过同熟期的对照杂交组合汕优 63,所配杂交组合具有很强的竞争优势^[16],且具有不育起点温度低(22°C 以下),农艺性状优良,异交率高,米质优,配合力强等特点。此外,当前广泛应用的不育系株 1S 配制的杂交稻组合在省级、国家级双季早稻区试中,产量大多名列前茅,主要原因就在于亲本株 1S 自身综合性状优良。再如超级稻先锋组合两优培九的父本品种 9311(扬稻 6 号)产量性状优良,9311 本身就是大面积推广种植的常规品种,其产量水平并不亚于杂交稻组合汕优 63^[17];蜀恢 527 也是配制了近 20 个通过省级以上审定的杂交组合的恢复系(父本),其综合性状好,尤其是千粒重大^[18]。这些材料基本上具备了超级稻亲本的特征特性及产量性状水平。

3.2 第二步:超级杂交稻的选育

3.2.1 超级杂交稻的标准

1)产量。目前生产上常用的 10.5 t/hm^2 (一期)、 12 t/hm^2 (二期)、 13.5 t/hm^2 (三期)的超级稻产量标准,其产量的高低很大程度上取决于特定的生态条件和栽培措施,难以准确反映品种的内在增产潜能和生产实用性,不宜采用。笔者建议采用在区试中的增产幅度作为超级稻的产量标准,即产量要求在国家或省区试中增产 8%左右。但可根据不同对照制定出不同的增产幅度标准。如长江中下游稻区和湖南省早稻早、中熟区试组,对照为常规稻品种,则增产指标可考虑较对照增产 15%以上。2)广适性。新培育的超级稻对不同的土壤、不同的生态气候条件、不同的耕作制度都有好的适应性,尤其是耐(抗)异常气候条件的能力不低于区试中的对照品种。3)品质优。食用稻米主要品质指标达到国标二等以上标准,专用稻符合各种用途的品质标准。4)对稻瘟病达中抗以上水平。5)抗倒性强。

3.2.2 超级杂交稻选育的技术路线

通过常规和分子育种技术,培育超级亲本及通过双亲最佳组配方式,增加选择压力,注重理想株型和优良生理机能及其各性状间的高度协调,是培育广适性和优质高产多抗超级杂交稻的主要技术路线。

超级亲本是选育超级杂交稻的基础,但超级杂交稻的选育还要根据其特有规律采取相应的技术措施,其中双亲最佳组配方式是杂交稻选育的技术关键。最佳组配是指双亲的亲缘关系适当远,如水稻品种与旱稻品种之间的杂交,地理远缘品种之间的

杂交,不同生态种之间的杂交,不同优势种群之间的杂交,籼、粳亚种间杂交。但需特别强调的是,籼粳亚种间的杂种优势只能是部分利用,不能利用典型的籼粳杂种优势,也不宜有过量的籼粳互渗成分后的杂种优势利用。大量的育种实例表明,即便具有广亲和性的典型籼粳交杂种优势利用,或者是籼粳互渗成分多的品种间杂交,也不能获得成功,这种杂种优势利用的致命缺陷是杂交种结实率稳定性和适应性差。

良好的株型、叶形、穗粒结构、生理机能及其相互之间高度协调是超级稻选育的技术核心。无疑,优良株叶形态是超高产品种最基本的要求,但以往过于强调某一种株叶形态模式,孤立地选择某一性状。事实上,超高产育种应根据不同的生态条件、不同的种植方式、不同的生育特性及不同的产量水平从株型、叶形、穗粒结构的高度协调层面上综合考虑。同时,还要求植株具有良好的生理机能,具体是叶片功能期长,单叶光合效率高,枝梗鲜活不早衰,后期根系活力强等。这种生理特性与株叶形态及穗粒结构也要求保持高度协调。因此,笔者认为超级稻选育没有固定的株叶穗粒模式,不同的生态条件更不可能套用同一模式。即使有模式,也是动态的、地域性的、不同产量水平上的模式,且必须遵循如下原则:在较大穗型的基础上,保持源库平衡,最大限度地利用光能。

增加选择压力是选育广适性超级杂交稻所必须采用的重要手段。对一些重要性状如对耐高、低温和抗稻瘟病的选育,对制种高度安全的两用核不育系和细胞质雄性不育系的选育等,都要创造易于鉴定选择的条件。只有在那种特定条件下选育的超级杂交稻才有极强的生命力和竞争力。分子育种技术则能加快多种抗性或其他有利基因聚合到超级杂交稻亲本中,最终培育出兼具多抗和高抗的超级杂交稻组合。

3.2.3 超级杂交稻选育的成功范例

笔者在超级杂交早稻育种方面取得了一定进展,如选育的超级亲本 996 和陆 18S 配制了两系法超级杂交早稻组合陆两优 996,2005 年通过湖南省品种审定。该组合 2003 年参加湖南省区试比对照金优 402 增产 7.6%,2004 年增产 7.9%,2005 年参加国家区试比对照增产 7.2%,在湖南省和国家区试中平均日产量较对照均增加 9% 以上,创造了以金优 402 为对照的区试增产新记录。又如,用超级亲本 C815S 配制的 C 两优 396 在湖南省 2005 年高

产组区试中,产量达 10 023 kg/hm²,比对照两优培九增产 12.5%。配制的另一杂交组合 C 两优 87 在湖南省一季晚稻预试和区试中,产量均居第一,2005 年在桂东县寨前乡种植,经有关专家现场测产,其产量达 13 547.25 kg/hm²,创造了湖南省一季稻单产的新纪录;用该不育系配制的 C 两优 343,2005 年在湖南省的一季晚稻预试中,比对照汕优 63 增产 14.5%。这些超级杂交稻组合(苗头组合),都是笔者在采用上述技术路线下育成的。

3.3 第三步:超级杂交制种

众所周知,印水型细胞质雄性不育系 - 32A 是我国配制组合最多,杂交种植面积最大的不育系^[19]。该不育系之所以成为我国第一大不育系,很大程度上取决于其高的异交结实率特性和低廉的种子生产成本。一个杂交稻组合即便其他各项指标都达到超级稻的标准,但倘若其制种安全性差,繁殖产量低,种子生产成本高,则这样的超级稻组合缺乏商业利用价值或利用价值很小。

3.3.1 超级杂交制种的产量标准

超级杂交制种的产量指标应根据母本生育期长短制订。母本属早稻类型的,因生育期短,生长量小,本身产量水平较低,超级杂交制种的产量指标要求大面积达到 3.75 t/hm²,最高单产达 5.25 t/hm²。中稻类型的不育系,生育期长,生长量大,产量性状好,产量潜力大,超级杂交制种的产量指标大面积应达到 5.25 t/hm²,最高单产达 6.75 t/hm²。

3.3.2 超级杂交制种的技术路线

3.3.2.1 超级亲本是超级杂交制种的前提和保证

以 C815S 为例分析最高单产达 6.75 t/hm² 的超级杂交制种的可行性。2005 年笔者用 C815S 和 838 在长沙进行杂交制种,田间调查表明 C815S 颖花数为 46 800 万/hm²,按千粒重 24 g 计算,该不育系的库容量可达 11.2 t/hm²。按异交结实率 60% 计算,该组合制种理论产量可达 6.75 t/hm²。事实上,在长沙地区某些年份用 C815S 试制种,最高异交结实率可达 65% 以上。倘若安排在生态条件优于长沙的地区制种,不育系 C815S 经济性状会变得更好,异交结实率可达 65% 以上,那么 C815S 所配组合制种产量达 6.75 t/hm² 并不困难,甚至有望突破 7.5 t/hm²。

3.3.2.2 最佳制种地的选择是超级杂交制种的技术关键

制种基地的选择对于杂交稻制种的成败至关重要,无论是两系制种还是三系制种,都要选择最适宜

的制种基地。特别对于两系法杂交制种,除了考虑制种产量高以外,更要考虑杂交制种的三个安全期,即育性敏感安全期、抽穗扬花安全期和成熟收割安全期^[20]。我国在水稻两用核不育系和两系杂交组合选育方面取得了很大的成就,但两系杂交制种的研究还不十分深入,尤其是对杂交制种基地的选择不够重视。

通常,育种单位针对周边气候条件来决定所选两用核不育系的不育起点温度,一旦杂交组合育成以后,一般都在育种单位所在省份或地区进行杂交制种。其实这种做法并不科学。众所周知,我国地域宽广,各种温、光生态资源丰富,如果将两系法杂交稻制种安排在湘南、赣南、广东、广西、福建的一些制种高产区,不但一些不育起点温度较高的两用核不育系可以利用,同时制种的安全性也将大大提高。此外,超级杂交制种还要求制种基地在水稻抽穗安全期不出现异常高温或连续几天低温阴雨的天气。

对三系杂交制种而言,同样有制种地的选择问题,尤其是一些育性易受高温或低温影响的不育系,选择最佳制种地对确保杂交制种的安全和高纯度具有十分重要的作用。

3.3.2.3 超级杂交制种必须采用一些超常规的技术措施

制种高产首先要求不育系的总颖花量多,且异交结实率高。因此,在超级杂交制种过程中,可尝试采用如下一些超常规的技术措施:

1) 超大行比与超常规培育父本相结合。为了尽可能增加母本栽植株数并获得更多的单位面积总颖花量,就必须扩大父母本的行比。根据父本的生育期、分蘖力、花粉量大小,父母本行比可采用 2 (16~22) 或 1 (14~18)。同时,为了保证大行比条件下不育系柱头有足够的花粉授粉,对父本要重施偏施肥料,尤其要重视基肥和分蘖期及幼穗分化初期速效肥的施用。

2) 超常规施肥加超常规栽培管理。通过重施底肥和追施促早发的速效氮肥,使禾苗一轰而起,够苗时,注意晒田。剑叶定型时,适当追施一次壮苞肥。最好根据不同杂交组合亲本的生长发育特点,研制出杂交制种的专用复合肥,做到施肥管水的模式化。

3) 对已有的超高产杂交制种技术进行改良、集成,形成一套完整的高产稳产高纯度杂交水稻制种技术体系。通过研制开发一系列物化产品,提高杂

交制种的异交结实率,降低穗萌率和倒伏造成的损失。

参考文献:

- [1] Kushibuchi K. Historical changes in rice cultivars//Science of the Rice Plant. Vol. 3. Tokyo: Food and Agriculture Policy Research Center, 1997: 837-875.
- [2] Wang Y, Kuroda E, Hirano M, et al. Analysis of high yielding mechanism of rice varieties belonging to different plant types: . Comparison of growth and yield characteristics and dry matter production. *Jpn J Crop Sci*, 1997, 66: 293-299.
- [3] Akita S. Improving yield potential in tropical rice//Progress in Irrigated Rice Research. Philippines: International Rice Research Institute, 1989.
- [4] 袁隆平. 杂交水稻超高产育种. *杂交水稻*, 1997, 12(6): 1-6.
- [5] 邹江石, 吕川根, 王才林, 等. 两系杂交稻“两优培九”的选育及其栽培特性. *中国农业科学*, 2003, 36(8): 869-872.
- [6] 王 熹, 陶龙兴, 黄效林, 等. 亚种间杂交稻协优 9308 的结实特性与生理基础. *作物学报*, 2003, 29(4): 530-533.
- [7] 杨守仁, 张龙步, 陈温福, 等. 水稻超高产育种的理论和方法. *作物学报*, 1996, 22(3): 295-304.
- [8] 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. *世界科技研究与发展*, 2003(4): 1-8.
- [9] 周开达, 汪旭东, 李仕贵, 等. 亚种间重穗型杂交稻研究. *中国农业科学*, 1997, 30(5): 91-93.
- [10] 程式华, 曹立勇, 陈深广, 等. 后期功能型超级杂交稻的概念及生物学意义. *中国水稻科学*, 2005, 19(3): 280-284.
- [11] 农业部超级稻研究与示范推广专家组. 当前超级稻示范推广工作情况与对策建议. *中国农技推广*, 2005(10): 25-27.
- [12] Shull G H. The composition of a field of maize. *Am Breeders Assoc Rep*, 1908, 4: 296-301.
- [13] Jones D F. The effects of inbreeding and crossbreeding upon development. *Conn Agric Exp Sta Bull*, 1918, 207: 1-100.
- [14] 吕川根, 宗寿余, 赵 凌, 等. 两系法杂交稻两优培九结实率稳定性及其与温度的关系. *中国水稻科学*, 2003, 17(4): 339-342.
- [15] 陈立云, 熊 炜, 阳菊华, 等. 水稻籼粳成分判定及亚杂组合结实率稳定性与亲本亲缘关系. *湖南农业大学学报*, 2002, 28(2): 89-92.
- [16] 唐文邦, 何 强, 肖应辉, 等. 水稻两用核不育系 C815S 所配组合杂种优势分析. *湖南农业大学学报*, 2004, 30(6): 499-502.
- [17] 徐卯林, 张洪熙, 黄年生, 等. 优质高产抗病中粳新品种扬稻 6 号的选育及利用. *中国稻米*, 2001(1): 24-26.
- [18] 王玉平, 李仕贵, 黎汉云, 等. 高配合力优质水稻恢复系蜀恢 527 的选育与利用. *杂交水稻*, 2004, 19(4): 12-14.
- [19] 毛昌祥, 石瑜敏, 周 行, 等. 我国杂交水稻组合和面积的变化趋势. *广西农业科学*, 2005, 36(4): 287-291.
- [20] 何 强, 蔡义东, 徐耀武, 等. 水稻光温敏核不育系利用中存在的问题与对策. *杂交水稻*, 2004, 19(1): 1-5.