

# 论杂交水稻的育种方法

陈立云, 雷东阳, 唐文帮, 邓化冰, 肖应辉, 张桂莲

(湖南农业大学农学院, 湖南 长沙 410128)

**摘要:** 推广杂交水稻是增加粮食产量的最有效途径; 杂交水稻育种是发展杂交水稻的技术核心; 杂交水稻育种方法是决定其选育成效的关键。笔者近年在杂交水稻育种方面取得了一定成就, 为了总结经验, 便于交流, 就杂交水稻育种所采用的方法进行回顾。探讨杂交水稻育种方向的确定方法和育种目标确定的原则, 认为杂交水稻育种必须符合国家经济建设和社会发展需求, 必须符合市场经济规律需求, 必须符合企业盈利需求, 必须符合未来发展需求; 提出杂交水稻育种性状选择要做到“全优、中庸、和谐”, 即双亲遗传距离适当, 绝大部分性状的选择只选中间类型的, 且所选性状要求达到与人和谐、与环境和谐以及性状之间相互和谐; 高度重视亲本优良性状选择和杂交种性状全优; 突出早发性、理想株形、抗倒性、高结实性、后期强功能性、稻米低垩白粒率等性状选择; 必须人为创造或利用自然条件对一些重要性状进行增压选择; 少种植育种材料和测交  $F_1$ , 多安排品比组合; 特别重视品比试验的质量和准确性; 注重品种审定规则及标准等。

**关键词:** 杂交水稻; 育种; 性状选择

中图分类号: S511.33 文献标志码: A 文章编号: 1007-1032(2015)01-0001-06

## Review on the methods of hybrid rice breeding

Chen Liyun, Lei Dongyang, Tang Wenbang, Deng Huabing, Xiao Yinghui, Zhang Guilian

(College of Agronomy, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

**Abstract:** The popularization of hybrid rice is the most effective way to increase food production. Hybrid rice breeding is the core technology for the development of hybrid rice, and, its methods are the key to determine the breeding efficiency. Based on achievements gained by authors on hybrid rice breeding in recent years, the paper reviews methods used in hybrid rice breeding with the purpose to sum up experience and to facilitate communication. The methods for determining the direction of hybrid rice breeding and the principles of establishing the breeding objectives are discussed, i.e. keeping in line with national economic structure and meeting social development demands, conforming to the law of market economy, entrepreneur profit, and future development needs. The principle of ‘moderation, harmony and excellent’ in hybrid rice breeding is proposed. The genetic differences between parents must be moderate, and all traits should be excellent and high harmony with human, with environment, as well as harmony among traits. It should be paid high attention to excellent trait selection on parents and hybrids. Hybrid rice breeding should be focused on some key traits, such as early growth and quick tillering, ideal plant type, lodging resistance, high seed setting rate, strong vigor at later stage and lower percentage of chalky grain, etc. Some important traits must be selected after full demonstration by artificial creating or taking advantage of natural condition. Breeding materials and test cross  $F_1$  should be planted less, while the combinations of variety comparative test should be planted more. More attention should be paid to the quality and accuracy of variety comparative test, as well as to the rules and standards of variety certification.

**Keywords:** hybrid rice; breeding; trait selection

近10年,笔者育成的7个杂交水稻组合通过了国家审定,14个杂交组合通过了省级审定;合作育成的1个杂交组合通过了国家审定,7个杂交组合通过了省级审定;育成的5个不育系通过了审定,合作育成的1个不育系通过了审定。这些不育系和杂交组合的生产应用对农民增产增收和企业增效起到了重要作用。笔者能在杂交水稻育种方面取得一定成就,体会最深的是杂交水稻育种必须要有好的方法。好的育种方法能省工、省时、省力,收到事半功倍的效果。不好的育种方法费工、费时、费力,容易走入研究的死胡同。为了总结经验,促进交流,现就如下3个方面对杂交水稻育种方法进行回顾与讨论。

### 1 杂交水稻育种方向与育种目标的确定方法

杂交水稻育种方向按杂种优势利用途径可分为三系法和两系法,再细分又有三系不育系选育、两系不育系选育、恢复系或父本选育;按属性可分为籼粳杂种优势利用和品种间杂种优势利用;按生态类型可分为杂交早稻、杂交中稻、杂交晚稻的选育;按育种方法可分为传统杂种优势利用方法和现代生物技术与传统育种相结合的方法;按育种目标可分为高产优质,以工业用途为主,以某单一抗性为主,或以高产、优质、多抗、广适相结合为主。在众多的杂交水稻育种方向中,就一个课题组而言,不论其人员多少,均不可能涉及所有杂交水稻育种方向。以往杂交水稻育种方向往往根据申请立项的课题而定,没有课题和经费来源,杂交水稻育种就无法开展,自然就谈不上育种方向。今后发展的方向可能更多的是根据生产需求,由企业提供经费进行杂交水稻育种,企业对育种方向的确定有绝对的话语权;也可能是育种家积累到一定的资源、资本后,单独进行商业化育种,由育种家自己决定育种方向,因此,在名目繁多、错综复杂的情况下,选择正确的杂交水稻育种方向至关重要。

确定正确的杂交水稻育种方向需要进行深入分析,如选择两系法还是三系法作为杂交水稻育种的方向,就必须分析2种杂种优势利用途径的利弊,以便知道哪种途径的前景更好。笔者认为,三系法

的最大优点在于不育系的育性不易受环境条件影响,杂交制种和亲本繁殖的安全性相对较好;其最大的缺点是受恢保关系制约,配组不自由,杂种优势的进一步发挥受到限制。两系法的最大优点在于不育系的育性受核基因控制,不存在恢保关系,配组自由,容易选配出高产、多抗、优质的杂交组合;其最大的缺点是种子生产易受气候条件影响,安全性差。三系法的缺点是不可克服的,而两系法的缺点是可以克服的,因此,认定两系法的应用前景要好于三系法,从而选择了两系法杂种优势利用作为杂交水稻育种的主攻方向。

笔者在杂交水稻育种的较早时期进行了籼粳杂种优势利用的研究与探索,发现典型的籼粳杂种优势利用非常困难,存在杂种一代结实率低且不稳定、植株偏高、生育期超亲晚熟、难脱粒、籽粒充实度差、杂交制种难、稻米品质中的糊化温度等重要性状很难达到和谐统一等问题,因此,将籼粳杂种优势利用作为一种长远的战略设想是对的,但对于个人或一个课题组而言,如果把典型的籼粳杂种优势利用作为唯一的、终身的育种方向,很可能难以出成果。

笔者对杂交早稻、杂交中稻、杂交晚稻育种方向的选择也进行了认真分析。当前,杂交早稻育种的用种量大,种子价格较高,早稻种植效益低,农民不愿意种;经营杂交早稻种子的利润低,风险大,种子企业不愿意卖;杂交早稻种植面积减少,需求不迫切,回报率低,育种者不愿意育。中国粮食安全形势将愈加严峻,提高单产和增加复种指数是解决中国粮食安全的最有效途径。对于上述情况,笔者始终认为,随着生产方式的更新和机械化的逐步实现,杂交早稻的应用前景是光明的,所以,笔者长期致力于攻克杂交早稻应用中存在的难题。需要强调的是,杂交水稻育种方向的确定要量力而行。当人力、财力、物力、能力有限时,一般只选择1~2个方向,重点突破,做出自己的特色,应避免在前景不明、难度很大、研究条件和能力不具备的情况下勉强为之。在育种方向确定后,要明确具体的育种目标。育种目标的确定要依据如下4个原则:

1) 必须符合国家经济建设和社会发展需求的

原则。中国人口不断增加,耕地逐年减少,确保粮食安全尤为重要,这是国家经济建设和社会发展的头等大事,因此,要把提高单产作为杂交水稻育种永恒的主题和目标。

2) 必须符合市场经济规律的原则。农民种稻的目的主要分为自我消费、经营获利、既自我消费又部分经营获利 3 种类型。无论何种类型,农民种稻都会进行成本核算。近年,杂交水稻种植面积减少,优质常规稻种植面积呈增加趋势。这主要是杂交水稻种子价格高,而部分杂交水稻组合的稻米品质又不太好,杂交水稻产量的提高部分不能弥补种子成本增加的部分。可见,降低杂交水稻种子生产成本,减少杂交水稻种子销售过程中的中间环节,大幅度提高杂交制种产量和稻米品质,努力提升杂交水稻的市场竞争力,是确定杂交水稻育种目标需要重点考虑的问题。

3) 必须符合企业盈利的原则。无论是国有种子企业还是非国有制种子企业,既要考虑盈利,又要承担社会责任。如果只强调社会责任,企业长期不盈利或盈利很少就无法生存,更谈不上有很好的发展。杂交水稻种子作为种子企业的核心竞争力要素,要求没有明显的种质缺陷,要求种子生产安全、高产、高效,要求大面积生产种植无风险。当前生产上一些表现很好的杂交组合,由于其制种困难或制种风险大而限制了推广,不利于种子企业盈利,这些组合的商用价值不高。可见,在确定杂交水稻育种目标时,育种者要考虑企业的接受度,否则,育成的品种没有企业愿意开发。

4) 必须符合未来发展需求的原则。确定杂交水稻育种目标到育成杂交组合在生产上应用,需要 10 年以上的时间。作为育种工作者,如果不能对未来水稻发展的趋势、生产需求、生产方式以及耕作制度等做出准确判断,就不可能成为一位杰出的育种家。20 世纪 80 年代,当育种家以高产为主攻目标时,笔者因预测到优质稻在未来市场经济中将有很大的需求,从而加大了优质杂交水稻选育的力度,于 20 世纪 90 年代初在中国率先育成了优质杂交组合培两优 288 和新香优 80。这 2 个组合既优质又高产,市场需求量大,所以成为当时杂交晚稻中熟组

合的主推品种。近年来出现了农田抛荒现象,南方稻区双季稻改单季稻的现象也较为普遍,种田的农民越来越少。随着土地流转量和种粮大户的增加,规模化、集约化、机械化、服务化会逐步取代以家庭联产承包责任制为主的生产方式,水稻生产方式和耕作制度将发生重大改变。伴随着改革的深入,对杂交水稻农艺性状也必然会有新的要求,因此,与栽培专家、农机专家、种子生产专家一起探讨规模化、机械化生产对水稻性状的特殊要求,并尽早开展这方面的研究,是事关杂交水稻育种未雨绸缪的有效举措。

## 2 杂交水稻育种性状选择的方法

杂交水稻育种的核心内容是性状选择。选什么样的性状,怎样选到所需要的目标性状,如何提高性状选择的效率,解决这些问题的关键是选择方法的确定。笔者通过育种实践,认为以下 4 个方面对杂交水稻育种的成败与效率具有十分重要的作用。

### 2.1 杂交水稻育种要重视和强调亲本优良性状的选择

笔者在“超级杂交水稻育种三步法设想与实践”一文中提出了超级亲本<sup>[1]</sup>的概念,把超级杂交水稻育种看成是站在巨人(亲本)肩膀上的一种艺术技巧,要在双亲亲缘关系适当的基础上大幅度改善新育亲本的农艺性状和经济性状,从而达到选育超级杂交稻的目的,如笔者育成的超级杂交早稻陆两优 996,其父本 996 的产量在区试中比杂交稻对照金优 402 增产 4.2%,母本陆 18S 的产量性状也较好,所以配制的组合比对照金优 402 单位产量增加约 8%,日产增加约 9%。尽管该组合的中亲优势不强,但其竞争优势很强;虽然该组合已通过审定多年,但其在双季杂交早稻迟熟品种中仍然属表现突出的组合之一。又如笔者育成的水稻两用核不育系 C815S,其农艺形状和经济性状优良,库容量可达同熟期区试对照杂交组合汕优 63 的水平,只要用较好的父本配组,就容易选配出优良组合通过审定。选育超级亲本可大量淘汰性状一般的材料,减少工作量,降低育种成本,选育目标更加明确,重点更加突出,育种效率更高,能为超高产制种奠定

良好基础。

## 2.2 杂交水稻育种要注重性状全优及各选择性状的“中庸和谐”

目前,水稻品种审定明确了产量、稻瘟病抗性、稻曲病抗性、抗高温、抗低温、抗倒伏、整精米率等性状为一票否决的性状。只要其中的1项不达标,就不能通过审定,可见,现在育成的杂交水稻组合是“全能型”的,要求其性状是全优的。要实现高产、稳产、优质,在性状的选择上要做到“中庸”,即绝大部分经济和农艺性状应选择中间类型的;所选性状既要有理想株形,又要有优良的生理机能;生理机能方面要求选择叶片的功能期长,单叶光合效率高,枝梗鲜活不早衰,后期根系活力强,等等。所选性状要能与人和谐,即在不同阶段与人们在生产、生活上的需求相一致;要能与环境和谐,即能在不同光温水气土环境下发挥最佳生长潜能,且能适应频发的灾害性天气;要能实现各性状之间的和谐,即在最大限度利用光能的前提下,保持库、源、流的高度协调统一<sup>[1-2]</sup>。

## 2.3 杂交水稻育种性状选择要突出重点

不育系、恢复系(父本)、杂交稻需要选择的性状有上百种。在如此多的性状中,任一性状都可能导致育成的不育系或杂交种失去商用或生产价值,但性状选择也不可能面面俱到,在关注诸多性状的同时,要突出性状选择的重点。笔者在育种实践中对以下重点性状进行了选择。

1) 不育系育性的稳定性。要将水稻两用核不育系的不育起点温度和耐受低温时间作为选择重点<sup>[3]</sup>。

2) 不育系的高异交性。重点突出柱头外露率的选择。

3) 好的早发性和繁茂性。重点突出早分蘖、快分蘖、多分蘖性状选择。这种特性有利于形成多穗、大穗、整齐穗;有利于攫取更多的光能;有利于减少大田用种量。独秆、少蘖及弱分蘖不适合杂交水稻<sup>[4]</sup>。

4) 强抗倒性。当前的机械化生产对抗倒性提出了很高的要求。抗倒性与株高密切相关。一般而言,植株越矮,抗倒性越强,但植株变矮会制约生物产

量,从而阻碍经济产量的进一步提高。可见,增强茎秆的韧性,适当提高植株高度是选育重点。

5) 高结实性。要求育成的组合结实率高且稳定。结实率考察要做到5观察:一观察异常气候条件下抽穗的稻穗是否有跳籽现象;二观察优势花是否有空粒现象;三观察主茎与分蘖穗之间是否有显著的结实差异;四观察穗基部籽粒充实度是否好;五观察二段灌浆现象是否特别明显。

6) 后期强功能性。凡是叶片、枝梗、根系早衰的水稻品种,籽粒充实度、结实率和稻米品质都差;凡是后期叶青、籽黄的品种,其抗逆性、产量、品质都相对较好,因此,要把后期的籽粒熟色作为选择重点<sup>[5]</sup>。

7) 低垩白粒率和高整精米率。这2个性状是决定米质好坏和能否通过审定的重要性状,可以通过剥检稻谷米粒进行选择。

## 2.4 杂交水稻育种中的重要性状必须进行增压选择

所谓增压选择,就是人为创造或利用自然条件,使选择的目标性状在充分表现的情况下进行选择的方法。像不育系的育性、杂交种的抗逆性、稻瘟病抗性等,如果不进行增压选择,就很难实现育种目标。

在增压选择方面,有的只采用人为创造条件的方式;有的只采用利用自然条件的方式;有的则采用将自然条件和人为创造条件相结合的方式。如水稻两用核不育系育性的选择,以前多把不育材料种植在海拔较高的山区,或种植在育性容易产生波动的季节,依靠自然低温进行增压选择,但自然低温与不育材料育性敏感期相遇的概率较小,即便选到目标性状单株,通常不能在当季繁殖种子,还需把选到的稻莠带到海南或带出海南,选择的效果和效率较差。笔者的做法是:建造人控水温处理池,把正处于育性敏感期的不育株移入22~23℃的低温处理池处理5~6d,根据处理后的花粉镜检结果决定选留单株;对当选单株割后再生,再在21℃的人控水温处理池中处理12~15d,繁殖当选单株。这种育性选择方法不受自然条件影响,选择的准确度高,效果好<sup>[6]</sup>。笔者所在的育种地完全不具备稻瘟病发病的条件,要育成抗稻瘟病的水稻品种必须

进行增压选择。笔者对稻瘟病进行增压选择的做法是：把选种圃设在稻瘟病发生严重的山区，在选种材料秧田的每块秧厢周围播种诱发品种，放置预留好的带病稻草，在秧苗二叶一心期喷施从全国各地收集到的主要稻瘟病优势生理小种的混合孢子菌液；移栽时，淘汰不抗病的株系，对抗性有分离的株系选无病斑的单株移栽；选种时，重点对穗颈瘟进行选择。按照这种方法，一般经过 2~3 次隔代选择就可以选到抗性较好的材料或杂交组合。

抗高、低温增压选择对选育稳产性好的杂交水稻组合非常重要。抗高温的增压选择方式主要是把选种材料的抽穗扬花期安排在一年中的高温时段或容易出现高温的地方；抗低温的增压选择方式通常是人为地把选种材料的播期推迟，使抽穗扬花期或乳熟期遇低温的概率增大，通过抽穗扬花期遇低温的结实率表现来鉴定选种材料的耐低温能力；通过乳熟期遇异常低温时出现的青枯死秆现象来鉴定选种材料后期的抗低温能力<sup>[7]</sup>。在水稻品种的选育过程中，在高、低温敏感生育期遇异常天气的概率较小，因此，假如遇到异常天气，一定要作好记录，严格淘汰，珍惜难得的选择机会。有条件的单位要在人工气候箱和人工气候室内对已基本定型的材料进行抗高、低温鉴定选择。

### 3 杂交水稻育种的工作方法

#### 3.1 处理好杂交亲本选种、测交配组和品比试验工作量之间的关系

前述超级亲本的选育就是为了减少选种和测交配组的工作量。一个课题组小材料种植上万份时，测交组合特别多，工作量很大，尤其是小块种植的测交  $F_1$  受非遗传因素影响大，即便是经验非常丰富的育种家也很难准确判断某一组合的应用前景。对测交  $F_1$  的考查通常只对生育期、长势、长相、抗倒性、穗粒结构、结实率、优势水平有大致了解，鉴定产量还必须进行品比试验。笔者在该育种环节的做法是：详细观察并记载测交  $F_1$  和相应父本的田间生长表现，对测交  $F_1$  表现特别优良的组合和对应父本同时进行小区测产；根据田间观察和测交结果，对测交  $F_1$  和相应父本表现都好的组合进行小面

积制种，然后进行严格的 3 次重复品比试验(品比试验的组合数多，筛选出优良组合的机率大)；对新育成的多个优良不育系或父本采用一母配多父或一父配多母的方式配制杂交组合进行品比试验(这样既可直接筛选出优良组合进入区试，又可把最好的不育系或父本筛选出来)；筛选出一个优良亲本后，用自己的亲本或他人的亲本选配出系列优良杂交组合。

#### 3.2 特别重视杂交水稻育种过程的工作质量和细节

杂交水稻育种应特别重视 3 个重要环节的工作。

1) 进行严格的 3 次重复品比试验。笔者进行的品比试验每年都做到了标准化。试验小区的面积不能少于  $13.5 \text{ m}^2$ ，否则，组合的边际效应会影响试验的准确度。试验秧田、大田一定要平整，肥力要均匀。育秧时，每播种小区的面积要基本一致，要根据籽粒的大小决定小区的播种量，根据发芽率的高低调整小区播种量，使每一小区的成苗数基本相同，最终达到秧苗质量一致。按国家区试的密度要求划行插植，插植的本数、深浅基本一致。移栽后第 3 天每  $667 \text{ m}^2$  施复合肥 40 kg，移栽后第 6 天每  $667 \text{ m}^2$  施尿素 5 kg(拌除草剂撒施)。重点加强对螟虫、飞虱的防治。只有将品比试验做准了，参加区试的组合才容易通过审定。在写本文之前，笔者查阅了 2006 年的品比试验结果，发现在当年双季晚稻中熟品比试验中，H 优 518 和 H 优 159 的产量排名在 32 个参试组合中位列前 2 位。这 2 个组合分别于 2011 年和 2010 年通过了国家品种审定。此结果进一步说明了品比试验的重要性。

2) 保证小面积制种的杂交种子质量。当一个课题组 1 年内有上百个杂交组合进行小面积制种时，要确保制种组合高的种子纯度并非易事。品比或区试的增产幅度只有百分之几，如果供试组合的杂株率有百分之几，那么其增产部分就抵消了。可见，获得高纯度的杂交种子参加品比试验或区试非常重要。对此，笔者采取了如下措施：小面积制种时尽量选绝对隔离区；把制种区安排到育种材料的上风头；把制种区与其他品种的花期错开；把生育期、株高、株叶形态相近的组合安排在相邻位置；把三系和两系杂交制种的组合分开；把杂交早稻和杂交

中、晚稻组合的制种区域隔离开;把不育系与某些品种杂交  $F_1$  感光的父本隔离开;把籼稻组合制种与粳稻品种隔离开或把粳稻组合制种与籼稻品种隔离开;把屏障隔离做好;选用纯度高的亲本;在父本开花前除去母本中的杂株;把杂交种子装入大的尼龙袋中晾晒,等等。

3) 重视对品种区试与审定的研究。水稻品种大面积生产应用的前提条件是通过审定,而参加区试又是水稻品种审定必须完成的程序。不同地方、不同时期、不同生产方式、不同消费水平、甚至不同分管品种审定的领导,对品种审定的要求都不完全一样,因此,研究品种区试和审定的规则、标准及易于通过审定的品种性状等,是一门科学,而不是投机。如果对水稻品种区试和审定的规则不熟悉、不研究、不适应,一味蛮干则很难育成品种通过审定。对此,笔者进行了如下尝试:十分关注由有关专家,尤其是长期从事区试工作专家撰写的区试总结或评述文章,经常查阅和分析省级和国家水稻区试资料,从中发现水稻育种在哪些性状的选育方面进步了,在哪些性状方面还有潜力和提升空间,哪些性状对品种通过审定最为重要,选哪些性状品种不易通过审定,选哪些不育系或恢复系(父本)容易选配出通过审定的组合,哪些省份更关注产量,或更关注品质,或更关注抗性,或产量、品质、抗性、适应性都要求严格。所有这些,育种家都必须关注。

## 4 结 论

杂交水稻育种方法要确定好方向与目标,要强调性状选择的“全优、中庸、和谐”,要突出对重点性状的选择,要对某些广适性性状进行增压选择,要处理好各育种环节之间的关系,要特别重视品比试验的工作细节和质量,要研究和适应区试及审定的规则与标准。

### 参考文献:

- [1] 陈立云,肖应辉,唐文帮,等. 超级杂交稻育种三步法设想与实践[J]. 中国水稻科学, 2007, 21(1): 90-94.
- [2] 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[J]. 湖南农业大学学报:自然科学版, 2002, 28(2): 89-92.
- [3] 陈立云,雷东阳,唐文帮,等. 两系法杂交水稻研究和应用中若干问题的思与行[J]. 中国水稻科学, 2010, 24(6): 641-646.
- [4] 陈立云. 两系法杂交水稻研究[M]. 上海:上海科学技术出版社, 2012.
- [5] 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[J]. 中国水稻科学, 2005, 19(3): 280-284.
- [6] 陈立云,肖应辉. 水稻光温敏核不育机理设想及光温敏核不育系选育策略[J]. 中国水稻科学, 2010, 24(2): 103-107.
- [7] 陈立云. 两系法杂交水稻的理论与技术[M]. 上海:上海科学技术出版社, 2001.

责任编辑: 王赛群

英文编辑: 王 库