
突破种间隔离，水稻基因破“矛”立“盾”披“甲”之战

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/41711.html>

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

突破种间隔离，水稻基因破“矛”立“盾”披“甲”之战。在稻属的24个种里面，被人类驯化栽培的仅有亚洲栽培稻和非洲栽培稻。如果能让产量高、品质好的亚洲栽培稻和抗性好的非洲栽培稻联姻，把各自的优点集于一身，就有望培育出更高产稳产的水稻新品种。

然而，二者间存在严重的生殖隔离。8月28日，《科学》杂志发表的中国工程院院士、南京农业大学教授万建民团队的最新研究成果给这道屏障撕开了一道关键裂口。



亚洲栽培稻（右）、非洲栽培稻（左）及其杂种F1代（中）的田间表型。受访者供图

该项研究克隆了控制亚洲栽培稻与非洲栽培稻杂交花粉不育的主效位点RHS3，首次鉴定出由矛（MAO）、盾（DUN）和甲（JIA）组成的精密遗传冲突系统，阐明其调控亚、非栽培稻杂种花粉不育的分子机制。这一发现为打破水稻种间生殖屏障、培育超高产亚非杂交稻新品种提供了重要的理论基础和种质资源。

博士们的接力课题

我从1991年开始研究‘水稻杂种优势利用’难题，这后来也变成了团队延续了30年的科研梦想。在论文通讯作者万建民团队的研究框架里，水稻杂种优势利用被视为三步走的战略。

第一步是利用籼稻和籼稻亚种内的杂种优势，这一步早已实现；第二步是利用籼稻和粳稻亚种间的杂种优势，相关工作已在《细胞》等期刊陆续发表；第三步，就是利用亚洲栽培稻和非洲栽培稻的种间杂种优势——这是更难啃的硬骨头，也是万建民自2000年回国组建团队以来就锚定的方向。

水稻养活了全球超过一半人口，也是我国最重要的粮食作物之一。亚洲栽培稻产量高、品质好，是我们餐桌上的常客；非洲栽培稻虽然产量略逊一筹，却身怀绝技：耐高温、耐干旱、耐贫瘠，还自带多种抗病虫本领。

然而，这两位朋友之间存在严重的生殖隔离——它们杂交产生的后代花粉活力极低，结实率大幅下降，就像一道无形的屏障，阻断了优良基因的交流重组和种间杂种优势的利用。

万建民团队围绕水稻杂种不育克服与杂种优势利用这一关乎水稻产量、抗性和品质的关键命题持续深耕：2018年，团队发现并克隆了种间杂种不育基因，揭示了自私基因操纵杂种育性的机制，成果发表于《科学》；2023年，团队又发现并克隆了籼粳亚种间杂种不育基因RHS12，揭示了杂种不育系统选择性引起花粉败育的分子机理，成果发表于《细胞》。

而这篇论文报道的主效位点RHS3，其实我们在2008年就已经鉴定到了，是我的博士生、现任江苏农科院种质资源研究所副所长张云辉在他的博士论文里做的。2008年到现在已经18年了。万建民感慨地说，我们团队有多位研究生，包括赵志刚、余晓文、王超龙同志等，经过18年的共同努力，才得到了（这个成果）。

这场科研马拉松，先后由团队中的多位博士接力完成。万建民将这一持久战的支撑力量归结为三点深切的感触。

首先，我们要选择一个具有重大科学意义的科学问题，以及有实际应用价值的研究方向去做，这个选择非常重要。其次，应该通过多学科团队的协作共同解决这个科学问题。最后，解决科学问题的同时，应该进一步探索这项科学研究对产业发展的重要意义。

越难的工作，越是让人一开始解释不了的工作，其实往往反而是越好的工作。论文共同通讯作者、南京农业大学教授王超龙则说：碰到困难的时候，觉得自己坚持不下去的时候，反过来想想，可能这是一个‘风浪越大鱼越贵’的课题，就会让自己坚持下去。

矛盾甲：水稻细胞里自私的基因

如果用亚洲栽培稻与非洲栽培稻杂交，其产生的第一代植株中，RHS3位点会使大约一半的花粉

正常发育、具有受精能力，而另一半花粉则在发育早期就发生败育、死亡。这种现象被称为半不育表型。

通俗地说，正常情况下水稻的花粉应该几乎全部有活性，这样才能完成正常授粉、结实、收获种子。但在这类种间杂交的后代植株中，只有约50%的花粉是好的、能干活，剩下50%的花粉是坏的、没法受精。

到底是什么导致了半不育表型的出现？我们面对的这个科学问题本身非常复杂，而早期基因组测序、基因敲除等分子生物技术还没有被充分利用，我们能做的就是将RHS3这个位点挖掘出来。等这些技术都大幅突破后，我们就可以做更多的基因功能解析、演化机制解析等工作。论文共同第一作者、南京农业大学博士生何晓栋说。

随着测序技术和基因编辑技术的成熟，研究团队逐步揭开了RHS3位点的神秘面纱。RHS3位于水稻第3号染色体上，能够选择性地引起携带亚洲栽培稻等位基因的花粉败育，导致杂交后代的花粉呈现半不育表型。

原来这个位点上有矛盾甲三兄弟，也就是三个关键基因。何晓栋解释道：‘矛’相当于一个捣蛋鬼，它可以破坏线粒体的功能，导致雄配子（花粉）及雌配子（胚囊）败育。‘盾’在雌雄配子里都能发挥作用，去保护配子。而‘甲’只在雌配子里起到一个清除剂的作用，能够降解‘矛’，彻底清除‘矛’的破坏作用，从而特异性地保护雌配子。

王超龙告诉《中国科学报》，非洲栽培稻拥有完整的矛、盾、甲三件套，而亚洲栽培稻只有甲这一副铠甲。二者杂交产生后代的花粉只携带一套来自亲本的染色体——要么携带来自非洲栽培稻的矛+盾+甲，要么携带来自亚洲栽培稻的甲。

一粒花粉，如果携带的是来自非洲栽培稻‘矛+盾+甲’，那么花粉活力就受到了保护；如果携带的是来自亚洲栽培稻的‘甲’，活力就被破坏了。所以花粉整体呈现一半败育的表型。王超龙解释道，但在雌配子，也就是水稻小穗的胚囊中，情况就不同了。来自亚洲栽培稻的‘甲’基因，也能够起到保护雌配子的作用。

这就是甲的神奇之处——它只保护雌配子，却不保护花粉。未来我们想继续深入的把这个机制解释清楚。王超龙坦言。而这一性别偏向性保护机制，也是审稿人认为很有意思、首次报道的创新点。

这是一种典型的‘自私的基因’。非洲栽培稻通过这样的办法，让花粉只能向下一代传递它的基因；而来自亚洲栽培稻的基因却因为花粉不育无法向下一代传递。王超龙说。不过，亚洲栽培稻演化出了甲基因的保护机制，通过雌配子向下一代传递遗传信息。

演化分析进一步揭示了这套系统的起源：甲为禾本科特有基因，矛和盾分别起源于展颖野生稻和南方野生稻，并可能通过渐渗杂交在非洲栽培稻的野生祖先——巴蒂野生稻中形成完整的矛—盾—甲精密遗传冲突系统，随后经编码区多次突变逐步演化获得完整的遗传功能。

从理论突破到超高产杂交稻的曙光

最新数据显示，我国水稻种植面积和总产量均位居全球第二，平均单产约为全球平均水平的1.5倍。半个世纪以来，杂交水稻技术助力中国以不足全球9%的耕地，解决了世界近1/5人口的吃饭

问题。然而，现有杂交水稻主要为亚种内或亚种间杂种，种间杂种优势尚未得到有效利用。

一般而言，物种间遗传分化程度越高，生殖隔离机制越复杂，杂种优势利用的难度越大；但相应的，一旦实现突破，种间杂种优势所蕴藏的产量潜力也更为可观。

研究团队在100多份非洲栽培稻材料中检测发现，97%以上的材料都携带着这套完整功能的系统——这也意味着，亚非栽培稻的杂交大概率会触发RHS3引起的不育。

王超龙介绍，他们还找到了一种盾有功能而矛失活的广亲和种质材料。这种材料分别与亚洲栽培稻和非洲栽培稻杂交，都能有效克服RHS3位点导致的育性下降问题。

目前，团队已经聚合了4个亚非栽培稻杂种不育位点，这也是我们从基础研究走向应用研究的一个关键步骤。何晓栋在采访中透露：我们希望进一步聚合位点，得到聚合6个位点以上的材料。这样育种家就可以自由地把非洲栽培稻与亚洲栽培稻进行杂交。



籼粳亚种间杂交F1代。受访者供图

亚洲栽培稻和非洲栽培稻杂交属于远缘种间杂交，具有显著的种间杂种优势。水稻籼粳亚种间杂种较亚种内杂种预期可增产20%以上，而种间杂种优势有望在此基础上进一步提升产量10%以上。被认为是继籼粳亚种间杂种优势利用之后，进一步突破水稻产量瓶颈的重要途径之一。何晓栋说。

论文共同通讯作者、华南农业大学副校长陈乐天教授表示，涉及重大的、疑难的科研问题，需要各个单位多方面开展有组织的科研，这项工作就是这样一个协作攻关的成果。

南京农业大学校长陈发棣指出，这项研究成功解决亚非栽培稻杂种不育难题，筛选出新的水稻种质，为亚非超高产杂交稻培育提供了坚实的理论基础和宝贵的种质资源。

业内专家认为，这项研究不仅首次揭示了选择性自噬参与植物种间生殖隔离的分子机制，具有重要的基础科学价值，更为突破水稻种间生殖隔离、培育超高产杂交稻新品种提供了理论支撑和种质资源，对保障国家粮食安全具有深远意义。

目前的研究打下了一个理论基础，为了克服亚非栽培稻种间杂种不育问题，团队还在继续进行新基因的克隆、功能的解析以及广亲和材料的创制。王超龙说，亚洲栽培稻和非洲栽培稻杂交育种过程中，杂种不育问题只是其中的一个主要问题。此外还有品质、抗性、耐逆等问题需要解决。真正能让老百姓吃上这种通过远缘杂交培育的水稻，仍有较长的路要走。（来源：中国科学报 李晨）

相关论文信息：<https://doi.org/10.1126/science.aec5252>

作者：万建民等 来源：《科学》

更多 科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](https://www.iikx.com)转发