

杂交小麦“一步到位”

■本报记者 张晴丹

杂交水稻的成功种植让人摆脱饥饿困境，对解决世界粮食安全有着重要意义。玉米的杂交育种技术研发也非常成功。但是同为世界三大粮食作物之一的小麦，受其六倍体复杂性所限，却在杂交育种上停滞不前。多年来，世界育种家们都在寻求突破，但这条路走得异常困难。

近日，先正达生物科技(中国)有限公司(以下简称先正达集团)资深研究员吕建课题组在《自然—生物技术》上在线发表研究论文，他们开发出了作物上首个具商业化潜力的父本单倍体诱导技术。

杂交小麦育种因此有望驶上快车道。

急需新技术解决小麦缺口

近年来，全球小麦消费量逐年上升，2012年到2016年全球小麦消费量的年均复合增长率为2.2%，2022年全球小麦消费量预计将超过8亿吨。

小麦在中国是两大口粮作物之一。近年来，我国小麦供需基本保持平衡。2010-2019年间，中国小麦主要从美国、加拿大和澳大利亚进口。

“保障小麦高产和稳产，是保证中国粮食安全的一个战略需求。”论文共同通讯作者吕建在接受《中国科学报》采访时指出，基于现有播种模式，中国小麦单位面积产量可以达到800-1200斤每亩。对比玉米、水稻等作物，还有很大的增产潜力可以挖掘。

市场上的玉米种子和很大比例的水稻种子都是杂交种，即通过杂交两个亲本得到的后代种子。“杂交种充分利用了杂种优势效应，可以提高生长势，增强病虫害抗性和提高产量。”吕建介绍。

杂种优势是指杂种第一代在体形、生长率繁殖力及行为特征方面均比亲本优越的现象。然而，一直以来，小麦杂种优势效应研究进展比较缓慢，这就限制了通过杂种优势来实现小麦增产稳产。

针对这一挑战，先正达集团开始探索新的杂交育种技术。

一步转育实现7%的诱导率

与水稻、玉米不同，小麦由于物种本身的复杂性，导致其杂交进展相对比较缓慢。“水稻和玉米是二倍体，同样的基因一般只有2个拷贝。而小麦则是六倍体，同样

『十三五』我国农业科技贡献率突破60%

本报讯 近日，2020中国农业农村科技发展高峰论坛暨中国现代农业发展论坛在南京举行。记者从论坛现场获悉，“十三五”以来，我国农业科技取得了一批重大标志性成果，农业科技贡献率突破60%。

会上发布了“十三五”期间农业科技标志性成果，它们分别是：水稻基因组学及应用国际领先、超级稻亩产突破1000公斤、H7N9禽流感疫苗研发成功并大规模应用、转基因玉米大豆新品种培育成功、猪病病毒性腹泻三联活疫苗研发成功并应用、冬小麦节水新品种与配套技术集成应用、玉米籽粒收新产品及配套技术体系集成应用、黄瓜番茄白菜等蔬菜基因组学国际领先、油菜生产全程机械化取得重大进展、寒地旱粳稻优质高产多抗龙粳系列新品种国际领先。

据悉，研究团队从2018、2019年公开发布的中国农业科学重大进展、中国农业农村重大新技术新产品新装备、十大引领性技术以及获得国家科技奖励一、二等奖的成果中，遴选出这10项重大标志性成果。

据介绍，“十三五”期间，我国农业现代化取得明显进展，粮食实现历史性“十六连丰”，果菜茶肉蛋鱼等产量稳居世界第一，这其中科技发挥了重要的支撑保障作用。“十三五”期间，我国农业科技基础前沿研究取得一系列重大突破，推动农业产业一系列重大变革，对农业农村经济社会发展做出了一系列重大贡献。(李晨)

的基因会有6个拷贝，所以小麦的种质创新相对比较费劲，育种周期很长，难度也很高。”中国水稻研究所水稻生物学国家重点实验室副主任王克剑告诉《中国科学报》。

多年来，科研人员一直致力于杂交小麦研究工作，积极布局三系小麦杂交育种技术。三系指的是细胞质雄性不育系、雄性不育保持系和雄性不育恢复系。近来，先正达集团科研人员取得了重大突破和进展。

在使用小麦三系杂交技术时，需要将不是不育系的材料转换成细胞质雄性不育背景。其本质就是以新材料的细胞核替换原有细胞质雄性不育系材料的细胞核，同时保有原有不育系材料的雄性不育细胞质。

“这在动物身上很容易实现，可以显微操作将原来细胞的细胞核移出，或是通过化学处理将原有细胞核破坏，然后将新细胞核移植到原有细胞质中。”吕建解释道，但是，这一方法不能在作物上实现，是因为显微操作需要破坏植物细胞的细胞壁，而去掉细胞壁的植物细胞很难再生成完整的植株。

所以，传统方法是将胞质可育品种(BB材料)同现有胞质不育系(AA材料)进行杂交再进行5-7代的回交，以保证最终的材料细胞核中绝大部分是来自B材料的基因组。显而易见，这种方法既耗时又浪费资源。

而且，通过上述传统方法得到的最终材料，同原有B材料在基因组上并不是百分之百等同。

“我们开发了一步胞质不育转育技术。这是基于父本单倍体技术，将不育系开发成父本单倍体诱导系，将待转育的材料诱导父本单倍体，再利用单倍体加倍技术实现胞质不育的一步转育。”吕建说。

胞质不育一步转育技术在概念上很简单，但实施起来很难。首先，可用于父本单倍体诱导的基因很少，只有玉米上的ig1和拟南芥上的CenH3基因。ig1突变只能产生1%的单倍体诱导率，并且在大部分玉米材料里会导致雄性不育。

吕建领导的团队将小麦ig1进行基因敲除，发现并不能诱导父本单倍体。这预示基于ig1的方法不太适用于更多作物。

而拟南芥CenH3基因自2010年被报道以来，是目前最有效的一个父本单倍体诱导基因。众多科学家花费了巨大的努力尝试在其它作物上重复拟南芥上的成功。

绿色视野

智能精准投饵，让河蟹吃饱又吃好

■本报记者 温才妃 通讯员 吴奕

冬日正是蟹肥时，河蟹正在铆足了劲地进食，积蓄能量。

在江苏金坛举办的全国水产养殖机械化现场会上，一辆白色的无人作业船驶入蟹塘，投饵、施药、转塘、驻泊，流畅的作业演示让200余名农机、渔业代表拍手称赞。

“一亩水面的投饵时间要多久?续航能力怎么样?”“怎样保证饵料分布均匀?”“一艘作业船价格是多少?”……江苏大学电气信息工程学院教授赵德安被养殖户包围着，详细介绍自己研发的这款河蟹养殖智能投饵施药作业船。

看着这款市面上极为少见的河蟹作业船，养殖户们仿佛看到了水产养殖业“机器人”的希望。

机械化水平低，水产养殖是份辛苦活

水产养殖过程中，投饵、施药、除草靠什么?“主要靠人力，要么一人撑船一人作业，要么一人撑船通过船载机器作业。”一位养殖户感叹，人工撑船投饵喂料，不仅劳动强度大，人工成本高，而且全靠经验，抛撒随意性强。这对需要全池塘均匀投饵、施药的河蟹养殖来说，是最需要补齐的短板。

在我国，农业机械化和农机装备产业发展还存在不平衡不充分的现象，在水产养殖领域尤其突出。2017年我国农作物耕种收综合机械化率达到了67%，而同期水产养殖机械化率还不足29%。

农业农村部《关于加快水产养殖机械化发展的意见》提出，到2025年，水产养殖机械化水平总体达到50%以上。赵德安负责的江苏省渔业科技类项目“河蟹养殖池塘全覆盖自动均匀投饵作业船研发与应用示范”，正是瞄准了水产养殖业投饵作业船的潜在市场。

“饵料是河蟹的主要营养来源，但吃不完的饵料又会污染养殖水体。我们要把饵料精准、均匀地投送给河蟹，让它们吃饱又好不会吃剩。”这项研究工作至今已经持续了8年时间，赵德安也俨然成为了“河蟹专家”。

他介绍，作业船的一项重要功能就是

▶接受人工授粉后的小麦花。
▼吕建(右)与Tim Kelliher在温室做实验。
先正达集团供图



然而他们都没有获得成功，以至于科学界一度怀疑CenH3的父本单倍体诱导是不是只能在拟南芥上实现。

吕建通过分析之前的实验设计推测，保持原有CenH3基因表达模式对于开发单倍体诱导技术很关键。他和论文共同通讯作者Tim Kelliher一起，创新性地设计了一对gRNA，只在CenH3蛋白氮端引入回码突变，不改变羧基段和启动子区域，最终实现了7%的父本单倍体诱导率。

“7%的诱导率可以说是非常好的开端，是首次在小麦上成功实现，这个效率在商业上具有可操作性。”先正达集团总裁张蓓在接受《中国科学报》采访时说。

创新育种技术的“基石”

另外一个挑战是在小麦上操作CenH3基因。CenH3基因编码着丝粒特异组蛋白，是减数分裂和有丝分裂所必需的。突变CenH3往往会导致作物不育和发育阻滞。而小麦是异源多倍体，有A、B和D三套基因组，同时小麦中有两个CenH3基因，即α和β，这又增加了操作难度。

“根据多年的研究经验，同样的方法和设计模式不能完全‘套’到不同作物上。我们需要自己摸索。”吕建说。

先正达集团科研人员通过基因组特异表达分析，将目标缩小到了CenH3-A和CenH3-B。同时，他们优化小麦编辑体系产生了大量的编辑材料，通过大量测序工作和杂交工作，最终开发了父本单倍体诱导系统。

此外，研究团队发现，回码突变在杂合状态下能更高效地诱导单倍体，这一新发现区别于之前拟南芥的报道。

“选配小麦不育系材料非常耗时费力，传统方法需要多年多代的杂交选育，工作量巨大，育种成本很高。而他们这项成果最大的亮点是可以快速实现不育系的创制，大大加速杂交小麦品种选育的进程，更快更省，促进杂交小麦在更大范围的利用和推广。”王克剑说。

在张蓓看来，这一突破不仅拓展了单倍体诱导技术，加速杂交小麦种质资源创制，实现“一步到位”，同时对整个杂交作物研究也有所助益，可以成为其他作物创新育种技术的“基石”，具有非常广阔的商业前景。

先正达集团正积极准备在欧洲推广杂交小麦，目前用的还是常规育种技术。张蓓表示，根据不同地区和国家的监管政策，先正达集团希望能尽快把这项技术推广应用。

“根据预测，杂交小麦技术可以帮助小麦增产5%-10%，这已经是很了不得的进步。通过一步胞质不育转育技术，可以加速小麦杂种优势的基础研究和杂交小麦的推广。如果能做到杂交水稻那种规模，这将是划时代的。”吕建对杂交小麦的未来充满信心。

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41587-020-0728-4>

尽管已入冬，来到山东省济南市长清区万德街道店台村，随处可见的果树仍让人联想到果实挂满枝头的丰收景象。

原来，这里有两位“村里人”——山东农业大学园艺学院教授姜远茂和彭福田，带领村民种果树，把技术倾囊相授。姜远茂还带着技术“秘诀”走进了160个县的苹果园里，成为果农致富的助推器。

给农民看“实效”

在甘肃省庆阳市西峰区后官寨镇沟峡村有一片68亩地的苹果园，以前杂草丛生、通风透光性差。果农笑称：“在外面看不见里边干活的人，交流时必须喊话。”苹果产量低，果型也不好，几乎年年赔钱。

直到2019年初，这个果园被纳入姜远茂主持的国家重点研发计划项目“苹果化肥农药双减”示范园。

针对果园郁闭问题，姜远茂摸索出一套高光效型果树修剪法。“大枝长大树，结果少，树枝小的树不旺，结果多，我们剪去苹果树上的粗枝干，让主干和结果枝粗细差距越大越好，让结果枝下垂，也便于管理。”

果农不理解，觉得粗枝干上能长很多花，开花就能结果，剪去多可惜呀。姜远茂没有多做解释，他喜欢用生产数据“说话”。

“周边果园的苹果大小一般在75-80毫米，这个果园都是80毫米以上，果型也漂亮，糖分含量大概是普通果子的两倍，每斤价格贵0.8-1元。我们从来没有生产这么多、这么好的果子。”不到一年时间，沟峡村示范园旧貌换新颜，连果园原技术负责人郭玉强都深感惊讶。

“果农只有见到实实在在的效益，才能对科研新成果心服口服，才敢用这些技术。”姜远茂说。

店台村的樱桃园也是如此。姜远茂是一种植物生长调节剂，能有效控制树冠旺长，促进花芽形成。姜远茂和彭福田再三叮嘱村民，这个药只能在叶面喷，一年最多喷两次。然而，有人学到一个“歪本领”——把多效唑往树下灌，结果适得其反，地里的樱桃树很快出现了衰弱现象，好在姜远茂和彭福田及时挽救。有了对比之后，他们带来的新技术更让村民信服了。

村民们纷纷表示，教授“果”然行。

把好技术送到果园

店台村成为当地的“明星村”，樱桃成为村里的支柱产业，与姜远茂和彭福田在这里扎根18年是分不开的。

一开始，他们就为村民选择了美早、早大果等樱桃品种，还和村党支部原书记张道山商定，村里出钱买树苗，免费给村民栽种，并承诺把樱桃种植管理新技术无偿相送。比如“起垄”技术可以减少雨季积水对果树根系的涝害，还能使根系生活在肥沃的活土层中，让树更加健壮，为丰产优质打下基础。

姜远茂及团队针对苹果生长发育、产品品质形成和养分需求规律研究了30余年，研发出叶面肥、微生物肥料、有机无机复混等苹果专用肥，减少化学肥料使用量，解决土壤酸化、板结等问题，还集成了整套的施肥、修剪及病虫害防控配套栽培管理技术。

“姜老师教我们科学施肥。果农一般在每年七八月份施膨果肥。但这时高温多雨，肥料很快就流失了。我们就分四次施用姜老师研发的苹果专用有机肥，肥料用量比以前减少30%。”沟峡村示范园负责人胡道村说。果园还用上了团队提出的壁蜂授粉、园艺地布覆盖、果园生草等系列配套管理技术。

“经过多年生产验证，使用这些技术不增加成本，甚至减少成本，而亩产还提高了10%-20%。”姜远茂希望把这些好技术都教给果农。他每年出差50余次给基层乡镇果树站的技术人员、果农作培训，不辞辛苦。

近几年，姜远茂结合苹果双减专项的实施，在全国建了8个万亩示范基地，在160多个果树镇村里扶持400多个合作社、家庭农场等新型经营主体。围绕国家脱贫攻坚战略需求，他还和团队在新疆、四川、宁夏等地建基地，帮助贫困户种植苹果树脱贫致富。

“花果山”是致富山

2011年，店台村一场大火后出现了“秃头山”。不能发展高山林果种植产业，把它变成新时代的“花果山”?有了这个想法，彭福田当即跑到山上取土壤样品。

“我们在实验室检测了土样品质指标，发现这里确实适合种果树。”科学数据让他们拿到了第一张“通行证”。

经过一番努力，如今的种植基地里有成千上万棵果树，总面积达6000余亩。店台村党支部书记张德勇介绍，“基地里每个树种有多个品种，有的高达30多个品种，都是最新研发的高档果品树种，栽培模式也是现代化的。”

这里成了省级旅游精品采摘园，每年采摘时间能持续七八个月。有很多游客采摘后觉得好吃，紧接着就提前预订了整棵树上第二年的果子。每年果树“领养”收入近30万元。

“统一管理果树的合作社招聘了30多名技术人员，其中不少是我和彭老师手把手带出来的徒弟。”姜远茂说。这里还是他们的科研示范基地，每年有大量农民和基层农技人员前来参观考察。

这些年，姜远茂思考一个问题：“好苹果怎么卖出好价钱，让果农收入更多?”2017年，他和参与苹果双减专项的木美士里生态农业有限公司董事长刘镇交流时的一个想法，促成了首届“中国好苹果”大赛。

“我们高价收购金奖获得者果品，鼓励果农种好果、卖好价。”深圳勇毅果品、北京金秋果商商贸有限公司等果品收购企业在比赛现场预订“好苹果”。每年都有50多个苹果经销商与果农现场签约、订货。

看到好果子得到认可，“村民”教授也更加期待新技术走进越来越多的果园里，让果树健康生长，让果农腰包鼓起来。

『村民』教授『果』然行

■本报记者 王方 通讯员 郭翠华



智能投饵施药作业船 赵德安供图

要付出很多。”赵德安说。

2016年第一代样机在江苏大学校内试制成功。校内试验场水体玉带河的堤岸由石块垒成，作业船上岸很不方便。赵德安意识到，船体太重，下水容易上岸难，养殖户使用起来很不方便，必须进行轻量化设计。

几经优化，投饵船已更新到第三代，重量从近500斤降到300多斤，机械结构和产品化设计都有了明显改观，还增加了药系统，可以实现投饵和喷药两项作业。

第三代样机还增加了辅助转塘和自动驻泊两项功能。赵德安介绍，江苏苏南地区多为20亩左右的小塘，利用作业船的自身动力实现转塘，作业船可以在相邻池塘间快速转移，这意味着一艘作业船可以供多个蟹塘使用，能有效降低用户使用成本。

此外，安装了自动驻泊装置的作业船，完成作业任务后可以自动停泊。养殖场工作人员加完料、设定好作业路径后，就可以放心地让作业船自主工作了。

2018年全国河蟹养殖面积达1000万亩，年产量约80万吨，总产值超过550亿元。其中，江苏省河蟹养殖产量约占全国的一半。庞大的市场前景，让赵德安对这款河蟹养殖智能投饵施药作业船的产业化发展信心很足。

“试验数据显示，作业船1个小时可以完成40亩蟹塘的投饵施药作业。”他说，河蟹养殖正在由追求产量的“大养蟹”向以质量效益为中心的“养大蟹”转变，自动化机械作业将大幅度地降低人工作业成本，提高水产养殖业的经济效益，更多地为用户提供需求。“要达到三者完美的融合，需

功能优化，养殖户使用更方便

单项研究对赵德安团队来说难度并不大，但要把机电一体化控制技术和具体装备结合起来，还要考虑水产养殖户的实际使用需求。“要达到三者完美的融合，需