

“小麦—冰草”开辟小麦高产育种新途径 种源创新“藏粮于技”

本报记者 叶晓楠

5月底，河南新乡的中国农业科学院作物科学研究所试验基地里，小麦即将成熟，麦浪翻滚，一片金黄，这片地里种植的小麦品种中，中国农业科学院作物科学研究所研究员李立会团队创制的90个“小麦—冰草”远缘杂交创新种质，以每个种类0.5亩集中种植，场景蔚为壮观。该种质被认为是开辟中国小麦高产育种途径的重要基因资源，为小麦育种创新提供了优异种质资源，为实现种业科技自立自强、种源自主可控注入了创新力量。

5月24日，由中国农业科学院作物科学研究所、中国农业科学院中原研究中心联合举办的“小麦—冰草”远缘杂交新品种（种）田间展示暨有效利用研讨会在新乡召开，40余家科研院所、种业企业等育种单位代表现场观摩了“小麦—冰草”远缘杂交高产、稳产、强筋新品种（种）90个，其中包括2023年国审小麦新品种“普冰03”和9个正在参加国家区域试验的新品系。

“今年展示的‘小麦—冰草’远缘杂交系列种质经升级换代表现出显著的多样性。这些新材料不仅保持了多花多实的特性，还拥有紧凑的株型和直立的叶片。值得一提的是，它们对当前的主要病害如茎基腐病和赤霉病表现出了卓越的抗病性，并且还兼具优质强筋的特点。”中国工程院院士、中国农科院作物所研究员刘旭评价说。

“小麦—冰草”“联姻”为何如此受业界关注？“小麦—冰草”远缘杂交系列种质经升级换代表现出显著的多样性。这些新材料不仅保持了多花多实的特性，还拥有紧凑的株型和直立的叶片。值得一提的是，它们对当前的主要病害如茎基腐病和赤霉病表现出了卓越的抗病性，并且还兼具优质强筋的特点。”中国工程院院士、中国农科院作物所研究员刘旭评价说。

攻克远缘杂交的世界难题

冰草属植物是小麦的近缘野生种之一，生命力极其顽强，具有优秀的抗旱、抗寒、抗病性。它的穗和小麦有点像，但穗子很大，具有小穗数和小花数多的突出特性，此外还具有极强的抗寒、抗旱性，对多种小麦病害表现出高度免疫性，被认为是小麦改良的最佳外源优异基因供体之一。

要想让小麦和冰草实现远缘杂交，谈何容易。“冰草和小麦外形看上去相似，实际上亲缘关系很远，杂交起来非常困难。”李立会说。

20世纪30年代开始，一些国家的学者希望解决这一难题，但直到20世纪80年代都未能成功。国际小麦研究界普遍认为：“小麦与冰草属间远缘杂交”是条死胡同。

1988年，硕士研究生入学前，当李立会向自己的导师、著名作物种质资源专家董玉琛提出这一选题时，董老师好意劝他放弃。“我想试一试，做不通再换题目。”李立会的执着说服了老师，随后他带领两名助手在试验田开始研究。

36年后，河南新乡的试验田里，数十种小麦和冰草杂交而成的小麦材料即将成熟，用这些材料育成的新品种，已经有15个，后备新品种也有39个。

“小麦—冰草”远缘杂交有哪些挑战？

“远缘杂交有三大障碍，杂交不亲和、杂种不育、后代‘疯狂分离’，这几个难题一直都解决不了。”中国农业科学院作物科学研究所研究员张锦鹏说，举例来说，小麦通常5月下旬成熟，而冰草生长在高纬度地区，此时才刚开花，让两者杂交，首先要把花期调节到同一时

期。其次，还需要解决“小麦—冰草”授粉受精中的生殖隔离问题。即便授粉成功，胚也不能正常发育，还需要开发一套幼胚拯救技术才能获得杂种植株。

常规育种技术路线走不通，就另辟蹊径，研究人员通过种质资源创新培育，终于突破了小麦与冰草的“生殖隔离”。在李立会的带领下，中国农业科学院作物科学研究所小麦种质资源创新与利用团队通过不懈努力，创建了一套小麦远缘杂交新技术体系。通过幼胚授粉、幼胚拯救、幼体细胞培养、高频率诱导异源易位、特异分子标记开发技术等一系列创新，攻克了“小麦—冰草”远缘杂交难题，实现了小麦育种上利用冰草属外源优异基因从“0”到“1”的重要突破。

团队还完成了对野生供体冰草的基因组测序和衍生后代的重测序，不断推动创新种质的有效利用与新品种选育。利用“小麦—冰草”多粒渐渗系亲本材料，选育出显著增产的普冰300、具有氮素养分高效利用的普冰301、具有多生态区稳定表现的优质强筋新品种普冰4696，这些品种正在参加国家小麦品种审定试验。

创新种质的利用空间很大

“过去，改进小麦品种、提高产量主要依靠现有推广品种之间的杂交来实现。然而，长期品种间杂交及对少数骨干亲本的大量应用，造成遗传变异范围缩小，品种抗原日趋单一，小麦育种进入瓶颈期。”李立会说，“因此，通过远缘杂交将冰草优异基因导入小麦，是一项意义重大的工作。在小麦野生近缘种中，冰草属物种具有小麦育种的众多优异目标性状，通过远缘杂交，引入当前栽培小麦缺乏的关键优异

基因，不仅产量能提高，抗逆抗病害能力也会增强。”

小麦和冰草结合后，最直接的好处就是高产。李立会介绍，传统育种中，亩穗数、穗粒数和千粒重是影响产量的三个要素，但这三者互为负相关，即一个要素的提高往往会造成其他两个要素的下降，难以同时提高。而“小麦—冰草”创新种质解决了这个问题，具有多花多实的高产特性，比小麦主栽品种增产可以达到10%，解决了中国突破性高产小麦种质匮乏问题，特别是发现了“多粒—高千粒重—有效分蘖”优异基因簇，其穗粒数和千粒重显著提高。

抗逆抗病害能力也大大增强。研究发现，“小麦—冰草”创新种质对白粉、条锈、叶锈菌等病害具有广谱抗性，为培育持久抗性且兼具多种病害抗性新品种提供了强力支撑。截至目前，“小麦—冰草”衍生系发放全国育种单位，培育出携带冰草外源目标基因新品种21个，参加国家和省级区试新品系39个，覆盖全国小麦主产区。其中，甘肃、陕西两省审定的小麦新品种普冰151，已成为当地条锈病等病害流行和旱地麦区的主栽品种，实现了多抗育种新突破。

“未来将建立‘小麦—冰草’创新种质利用联合体，大力提升利用效率，并加强创新种质中来自冰草P基因组高产、优质、多抗等重要基因的功能解析。”李立会说。

今年展示的“小麦—冰草”远缘杂交系列种质材料还具有优质强筋的特点。

面条是否筋道，和小麦品质有关。中筋小麦主要用于面条、馒头等传统面食的制作，而弱筋小麦多用于酿酒等工业生产，强筋小麦则多用于制作面包、水饺、拉面等食品。过去，中国弱筋、强筋小麦生产不足，品种不佳。随着农业科技的发展，如今，中国自己的弱筋、强筋品种，已

经普遍赶上国际先进水平。

“从种质创新到有效利用，虽然时间通常比较长，但影响深远。我们期待‘小麦—冰草’远缘杂交研究将推动小麦育种取得新突破。”李立会说，“‘小麦—冰草’创新种质的利用空间很大，一些潜力有待深入挖掘。团队从新乡基地收获材料中，筛选出强筋类型普冰新种质12个，这些新品系的蛋白质含量高，适合制作高档面包，具有很高的市场价值。”

“这表明‘小麦—冰草’的利用上了一个新台阶。”中国工程院院士、中国农业大学校长孙其信说，从种质材料到新品种，从多花多实到多抗，这些品种（种）的潜力还是蛮大的，应该把这个优势转化为生产的优势，造福小麦育种。

中国工程院院士、西北农林科技大学教授康振生最近一直在关注如何提高小麦品种的综合抗病能力，“普冰的抗病性就是综合性的。”康振生说，希望未来对普冰的品种利用上，通过挖掘不同的抗性资源，合理布局，形成生物屏障，对多种小麦病害产生持续的控制力。

此次研讨会上，展示的“小麦—冰草”远缘杂交新品系和新品种，大家称之为“普冰”，它们与现在生产上推广种植的小麦品种间遗传差异大于60%。这些品种（种）有20—40个姊妹系，将尽可能满足推广区域的不同要求。来自企业的代表对“小麦—冰草”新品系的高产潜力、抗病性、抗倒伏、抗穗发芽逆境能力和强筋品质特性给予了高度评价，对下一步的合作开发和推广表达强烈意愿。

“普冰系列我跟了3年，试种了两年，特别是去年出现‘烂场雨’的情况下，我们看到了普冰300品种是非常耐穗发芽的，千粒重能达到42至43克。”河南科林种业有限公司董事长李松科说，“我注意到，普冰系列小麦的穗层比较厚，有三

层穗，特别是最下面的小穗，我数了数都在15粒左右，而且它的成熟期跟上面大穗的成熟期很接近，这也就是说小穗也能产粮，由此可以提高产量，生产潜力很大。我们在基地今年种的是第二年，每年试种了一亩地，穗粒数还是很高的。所以从市场的角度看，我们觉得这个品种值得拓展。”

发挥育种国家队牵头作用

农业现代化，种子是基础。今年是种业振兴行动由“三年打基础”转向“五年见成效”的关键一年。黄淮海小麦生产功能区，是全国粮食生产的核心区。种业振兴行动以来，加快培育具有原始创新性的突破性新种质，成为种业科技创新的重中之重。

中国的小麦育种，早在20世纪上半叶就已经开始，得益于一代又一代育种家们的不懈探索，逐步走到了世界前列。种子是农业的“芯片”，种业技术的进步，是农业发展的基础，也是保障粮食安全的重要前提。

“目前中国小麦单产水平位居世界前列，在自主品种种源自给方面优势明显，但也面临着产量提升进入瓶颈期、绿色多抗优质品种供给不足等问题。回顾种业科技创新发展历程，每一次产量品质的大面积提升，都是得益于突破性新种质的产生，及其衍生出一大批突破性的重大新品种。”中国农业科学院副院长叶玉江说，比如李立会研究员带领团队，通过30多年的艰苦努力，在破解了小麦与冰草属间远缘杂交难题基础上，围绕突破性重大新品种培育需要，创制出一批育种家能用、好用、想用的多穗粒数、绿色抗病、优质强筋小麦新种质，进一步拓宽小麦育种的新基因源，增强

了中国小麦种业的竞争力。

种子是农业的根本，种质资源则是种业的基石。位于北京的国家作物种质库中，零下18摄氏度的低温中，保存着5万多份小麦种质资源。“这些被妥善保存的丰富基因，是中国作物育种和种业振兴的希望。作物种质资源，在遗传育种中起到很大的作用。中国的农业科学家，培育了许许多多新品种，都是利用作物种质资源来培育的。这些新品种培育以后，农民种植了新品种，使原有的单产提高了4到5倍，甚至8到9倍。”刘旭说。

在河南新乡的中国农科院作物所的基地中，20多个研究组每年在这里进行着60多项科研任务，面向黄淮海及周边地区，培育一个个新的品种，同时也为众多科研单位提供育种的材料。

“这片1100亩左右的新乡基地，自1993年开始建设，2003年正式入驻，是黄淮海小麦主产区唯一的综合性实验基地，在支撑研究所科技创新和推动成果转化中发挥重要作用。基地育成了多个系列的粮食作物新品种。”张锦鹏介绍，其中，“矮秆小麦及其高效育种方法的创建与应用”获国家科技进步一等奖，“小麦与冰草属间远缘杂交技术及其新种质创制”获国家技术发明二等奖。中麦、航麦、轮选、普冰系列小麦，中单、中玉系列玉米，中黄系列大豆等386个品种通过国家和省级审定，累计推广面积4亿余亩。

“作科所发挥了育种国家队的牵头作用。”中国农业科学院作物科学研究所所长周文彬说，作科所以小麦、玉米、大豆、水稻和杂粮等作物为重点，瞄准世界作物科技前沿，面向国家现代农业发展需求，以资源研究为基础，基因挖掘为核心，品种培育为目标，耕作栽培为保障，开展作物科学基础与应用研究，为国家粮食安全和农业高质量发展提供科技支撑。

“在种质资源鉴定和推进转化应用方面仍需持续发力，要加强校企合作，解决新种质到新品种‘最后一公里’问题，持续加快创新种质的释放利用和成果转化，为小麦稳产保供做贡献。”周文彬说。

农业农村部种业管理司司长刘莉华认为，在如期完成了第三次全国农作物种质资源普查基础上，种质资源保护利用要通过在资源精准鉴定上加速、在资源挖掘创制上突破、在资源共享利用上创新机制，把资源优势转变为创新优势、产业优势，让资源用得上、用得好，真正发挥作用。

图①：近日，在中国农业科学院作物科学研究所的河南新乡试验基地里，小麦即将成熟，落黄漂亮，一派丰收景象。

图②：普冰300田间长势良好。

图③：中国农科院作物科学研究所李立会研究员（右四）和团队成员察看田间材料表现。

图④：5月24日，在中国农业科学院作物科学研究所的河南新乡试验基地，科研院所、种业企业等育种单位代表现场观摩“小麦—冰草”远缘杂交高产、稳产、强筋新品种（种）。

以上图片均由中国农业科学院作物科学研究所提供

图⑤：河南省西平县老王坡万亩高标准良田麦收现场。

卫百民摄

