

# 一场太空种子的“变形计”

■本报记者 张晴丹

这几天,经历“奔月之旅”归来的一部分水稻、苜蓿和燕麦种子已经在实验室里出苗,并且长势喜人,它们承载着解决种源“卡脖子”问题的重大任务。

种子遨游太空并不是什么新鲜事,神舟八号、神舟十号、天宫一号、实践十号等都曾搭载不同的种子上天。然而,这次与嫦娥五号同行的种子,经历了与以往完全不同的“太空之旅”,这场“远行”完成了深空空间诱变实验,带来了更大变化的可能。

30多年的航天育种事业,一批又一批优良品种的“诞生”,都在致力于中国种业翻身仗,为实现“种业强国梦”的目标而不懈努力。

## 搭载机会难得,种子肩负重任

种子被视为农业的“芯片”,但是我国种业底子薄、资源家底不清,自主创新水平不及发达国家,一些农作物种子被国外垄断,要下决心把民族种业搞上去,就要加紧培育具有自主知识产权的优良品种。

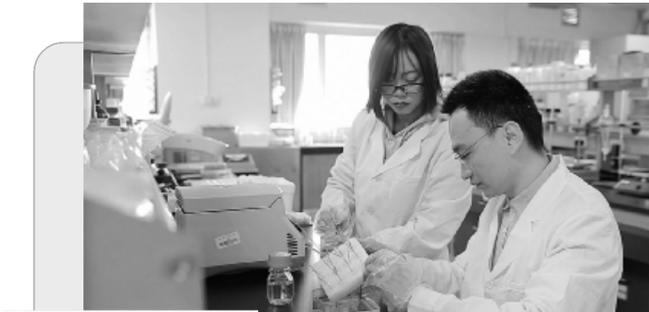
“要想培育优良新品种,必须有优良的种质资源,这就需要采用不同方法来创新种质获得育种材料。目前已有的方法和手段有野生种收集、杂交、基因编辑、分子设计和空间诱变等,其中的空间诱变更具‘潜力’。”中国农业科学院兰州畜牧与兽药研究所(以下简称兰州牧药所)抗逆牧草育种与利用团队首席专家杨红善在接受《中国科学报》采访时表示。

杨红善介绍,空间诱变有三大“宝”,分别是高真空、微重力、空间射线,这三个因素共同作用可以使得种子内部的遗传基因发生变化,种子回到地面后就有可能“变异”出符合育种家需要的育种材料。

每一次的载荷非常有限,此次嫦娥五号搭载了以航天育种产业创新联盟(以下简称联盟)牵头多家单位提供的水稻、苜蓿、燕麦、兰花、竹子等各类农作物、林草花卉种子共30余种。“联盟发挥组织成员单位协作科研攻关的作用,用好搭载材料,从中取得更多科学发现和试验成果。”联盟理事长梁小虹表示。

能上天的种子都是“天选之子”,要通过层层选拔。“在搭载之前,我们要测定发芽率,选择发芽率在95%以上的种子,并逐粒进行人工‘精选’,要保证每粒种子饱满。”杨红善说,这次搭载的牧草种子分两类,一个是被誉为“牧草之王”的紫花苜蓿种子8.3克,一个是高海拔地区优良牧草燕麦种子10克,它们的主要用途是解决牛羊口粮问题。

与以往神舟飞船、返回式卫星等搭载不同的是,嫦娥五号月球往返共23天,整个空间飞行距离接近80万公里,



▲科研人员调查嫦娥五号搭载种子长成幼苗的发育情况。郭涛供图

▲紫花苜蓿种子出苗。杨红善供图



与近地轨道的整个环境因素差异巨大。

“深空环境对于生命的影响是一个非常重要的研究课题。我们搭载的近2500粒‘航聚香丝苗’水稻系种子经历了范艾伦辐射带和太阳黑子爆发,这些空间环境因素可能会对水稻实验材料的变异率和变异幅度产生重大影响,理解这种变化,对下一步探讨物种进化和生命起源具有理论价值。”国家植物航天育种工程技术研究中心副主任郭涛在接受《中国科学报》采访时说。

对于科研人员来说,这是一次“无比难得的机会”。

## 找寻变异性状,获得优良种质

搭载只是第一步,结束“太空之旅”回到地面后,种子会被分为三部分,一小部分用于早期室内实验,大部分用于大田种植实验,剩下的作为种质资源保存起来。要做的第一件事就是取少量的材料,全方位地观察其萌发变化。

“从宏观到微观都有一系列的变化。宏观体现在水稻的农艺性状,比如株高情况、分蘖多与少等,微观则体现在细胞学染色体上,再具体一点,比如DNA分子的遗传物质、碱基的序列等,都可能发生‘变异’。”郭涛介绍。

然后,科研人员要把这些变化与没有上天的种子进行对比,寻找差异以及原因。种子出苗后,种到大田里尤为关键,可以观察生长发育总体变化。不过,郭涛表示,这一过程很艰辛,需要经过多个遗传世代才能最终把更好的优良性状“固定”下来,用分子生物学手段把相

关基因克隆,再针对这个基因开展更多育种工作。

在郭涛看来,航天育种是一个“长跑”的过程,覆盖种子多个生命周期。就水稻而言,要完整地做完整个实验需要4到5年,或者更久的时间。

而中国十大花之一的兰花,其育种时间比水稻还要长,国兰杂交育种过程长达8年,缩短育种时间是此次兰花种子搭载的一个主要目的。“我们选择的是国兰、杓兰、兜兰等3属7种兰花种子,都是中国兰花,没有洋兰。”北京林大林业科技股份有限公司总经理杨明琪在接受《中国科学报》采访时说。

他们对这3个属寄予了不同的厚望。“希望能选育出花期更长、花色更丰富、叶形更多样、抗逆性更强的国兰和兜兰;并且,让杓兰实现种子繁殖,以此提高产量,改变濒危现状。”杨明琪表示。

搭载回来的种子许多都已开展研究。根据目前水稻种子的发芽和出苗情况,郭涛满怀期待,因为这些种子发芽速率更快,“深空环境因素的持续作用,似乎使得它们的遗传物质更加‘活跃’”。

这或许也与这些水稻种子来源于“太空世家”息息相关。这个“航聚香丝苗”种子的父亲“华航31号”和母亲“航恢1508”都是经过空间诱变选育出的新品种,其性状本身就比较优良。

最近,一小部分紫花苜蓿和燕麦种子也相继发芽出苗。“由于不是种植季节,我们的主要工作会放到3月份,育苗后种植到大田里,完成整个生育期。”杨红善介绍。

相比之下,兰花种子的发芽进程

缓慢很多。杨明琪透露,此次搭载后部分果实出现开裂,兰花种子的发芽正在努力中。

## 产品走进市场,产业蓬勃发展

从1987年我国先后利用返回式卫星、神舟飞船开展航天育种搭载实验以来,经过30多年的发展,创新了许多种质资源,通过审定的新品种超过200个,产生的经济效益达2000亿元人民币,这些新品种都是“优等生”,有着各自的“闪光点”。

作为我国排在第一位的粮食作物,水稻的研究意义非凡。“我们中心就是以水稻为最主要的优势和特色,目前已经选育了57个水稻新品种在生产上大量推广和应用,推广面积超过6000万亩。”郭涛介绍。其中,“华航31号”经过空间诱变后的产量提升10%,成为了广东省农业主导品种。华航聚香系列品系具有特优质、多抗等特性,在市场上备受青睐。

兰州牧药所通过航天诱变育种培育出的国家新品种“中天1号紫花苜蓿”,直观表型性状为多叶,以5叶为主(常规苜蓿为3片小叶),叶片越多,产量越高,比对照品种产量高10%以上,粗蛋白含量也更高。杨红善介绍,这个品种目前正在北方地区大面积推广种植。

一提到太空农作物,就避不开一个食品安全的话题。

“航天育种新品种的安全性是毋庸置疑的。”郭涛表示,空间诱变改变的是水稻的性状,不会导致大米成分的变化,对人的遗传物质也不会产生任何不利影响。

杨红善认为,自然界本就存在突变,空间诱变只是提高了突变的概率,很安全。据统计,全世界突变品种的数量达3280多个,62%属于诱导突变,其中25%是水稻品种,大麦约占10%,都已经在全世界广泛使用。

2015年,国际空间站的宇航员就在太空中收获了他们种植的生菜,并且直接食用,更生动地证明了航天育种的安全性。

实际上,航天育种的产品已经广泛深入各个产业链,产品已经延伸到市场上,进入了我们的“米袋子”和“菜篮子”,只是很多人并不知晓。

郭涛指出,我国有完善的规章制度保障食品安全。一个品种要想“端上”百姓的餐桌犹如“西天取经”般不易,会经历一系列“把关”,比如品比试验、区域试验、生产示范等,还要通过省级以上农作物品种审定委员会审定,才可以大面积推广。

“凡是能在市面上合法流通的水稻产品都符合国家食品安全要求,大家完全可以放心食用。”郭涛强调。

## ■大话农科

玉米是我国第一大作物,是确保国家粮食安全的重要支撑。在近日举行的“加快生物育种创新,保障国家粮食安全”全国媒体报道沙龙上,中国农业科学院生物技术研究所所长李新海指出,原创性的基因、种质和技术是玉米种业发展基础,应不断强化优异种质自主创新,确保我国玉米种业持续发展。

## 缺乏优异种质资源

种质是品种选育的物质基础。地方品种、育种材料、品种以及野生近缘植物等都属于种质。

我国不是玉米原产国,600多年前玉米传入我国。2019年,我国玉米单产较1949年增长5.6倍,这也得益于品种的持续更新换代。

新中国成立初期,我国玉米种植面积1100万公顷,有12000个地方品种;现在我国玉米种植面积达到4200万公顷左右,年推广面积10万亩以上的杂交种不足1000个。

“尽管推广杂交种提高了玉米的生产水平,但种质基础日趋狭窄。”李新海说。

美国保存了7万份玉米种质,其中原杜邦先锋等种业公司拥有世界上最大规模的玉米商业化种质资源。美国玉米种质具有茎秆坚韧、生育期短、耐密、籽粒脱水快、适合机械化等特点。

此外,国际玉米小麦改良中心也保存了相当数量的玉米种质,其层次分明,血缘清晰,从群体和基因库中选育自交系,类型丰富,各具特色,杂种优势模式明晰。

我国玉米品种选育对国外种质有相当大的依赖性,其间从美国引进较多现代育种种质。有研究表明,美国玉米种质利用率每增加一个百分点,我国玉米平均产量增加约10公斤/公顷。

目前,我国玉米形成了四平头、旅大红骨、兰卡斯特、Reid等杂种优势群。其中,四平头和旅大红骨是我国本土化种质,从这两类种质选育的自交系支撑培育出郑单958、丹玉13等一些重要品种。我国玉米种质具有抗逆性强、配合力中等,但成熟期偏长、脱水慢,不适应机械化等特点。

李新海指出,总的来看,我国拥有的玉米种质资源数量尚可,但缺乏对种质有效遗传变异的深入认识,缺乏与育种目标相适应的优质、抗逆、耐密抗倒、适宜机械化的优异种质。

## 原创性技术是种质改良基础

2013年,《国务院办公厅关于深化种业体制改革提高创新能力的意见》指出,加快推进现代种业发展,建设种业强国,为国家粮食安全、生态安全和农林业持续稳定发展提供根本性保障。

“建成种业科技强国的标志是要有自己原创性的种质、技术和理论,最后体现在品种上,才能支撑科技强国。”李新海说,优异种质可以利用现有的种质资源,但是要以此为基础创造出能够满足新时期玉米生产需求的种质。

“更重要的是,我国育种家利用现有的育种材料,通过多基因聚合的方式,需要创造新的种质来满足玉米

种业发展需求。”李新海强调,如果玉米种质资源的引进交流渠道不畅通,依靠自主创新种质来满足玉米新品种选育需要就显得尤为重要。

“从国际竞争和国内需求的角度,要保持玉米种业持续发展和玉米生产用种安全,都需要在‘十四五’时期突破玉米优异种质的瓶颈制约。”李新海说。

他认为,生物技术是提高种质创新效率的重要手段,包括分子标记技术、转基因技术、单倍体技术、基因编辑技术等。

为实现高效率的玉米种质改良与创新,李新海建议,遵循杂种优势模式,采取循环改良策略,积累和提高等位基因频率;采用逆境压力,创造有利于暴露基因型与环境互作的环境,把遗传方差最大化,有利于选择目标个体;利用分子标记、转基因、基因编辑等提升定向改良效率,通过全基因组选择提高复杂性状的选择效率。

## 健全现代玉米种业科技创新体系

当前,我国玉米种业科技创新体系尚不健全,存在种业创新机制和政策不完善,科技创新能力与发达国家相比仍有差距、品种培育尚不能满足高质量发展需求、知识产权保护较为薄弱等问题。

李新海建议,首先需完善“双轮驱动”的现代玉米种业科技创新体系,形成公益性基础研究与应用基础研究紧密结合的科技创新体系。健全以玉米种质资源收集评价与创新、基础理论与共性技术研究为基础的研究体系;形成企业为主体、大规模、高通量、专业化、流水线的玉米商业化育种体系;构建产权明晰、开放共享的成果转化体系;确立以企业为主体的技术创新投入体系。

其次,强化种源“卡脖子”技术自主创新。夯实种源源头创新,抢救性保护稀有种质资源,开展种质资源形成与演化机制等基础研究,加大优异种质创新,突破“卡脖子”关键技术,如基因编辑、合成生物学、全基因组选择、人工智能设计等前沿高新技术,推动传统育种技术改造升级,建立育种精准化、智能化和工程化;建立生物育种大数据平台,提高育种效率,抢占制高点。

再次,健全生物种业发展政策。健全知识产权管理政策,确保原始创新能力提升;优化种业投资政策,加大财政资金投入,充分发挥资本的功能和作用,支撑全产业链创新发展;制定出台生物育种产业化政策,保障核心竞争力。

# 优异种质... 玉米种业发展的核心

■本报记者 李晨

# 再生稻,开辟粮食产能“再升道”

■本报实习生 王东丽 记者 李晨阳

“粮食关系到国家的经济命脉,但一斤米还没一瓶矿泉水贵,农民不乐意种成了老大难问题。”中国科学院院士、福建省农业科学院研究员谢华安说,提高粮食产量、增加农民收益是提高农民种粮积极性的关键之道。

为此,他将再生稻作为主攻方向,带领研究团队在福建省尤溪县开展再生稻科研攻关,80岁高龄仍坚持在科研一线。

一分耕耘一分收获,良田陌上,硕果累累。截至2020年,尤溪县再生稻高产示范连续13年亩产稳定在1290公斤以上,最高产量达1389.1公斤/亩。再生稻超高产栽培集成技术趋向成熟,“吨粮田”不再罕见。

## 创研一种两收

近年来,我国农业生产成本不断上升,导致种粮比较效益偏低,农户水稻种植积极性不高。与此同时,我国的人均稻米消费需求还在不断增长,相比之下水稻的单产提高幅度则非常有限。综合影响下,我国南方部分稻区出现了双季改单季甚至土地抛荒现象。

面对如此现状,福建省农业科学院水稻研究所将目光投向了再生稻。什么是再生稻?“再生稻是一次播种、两季收成的水稻。8月中旬收割头季,不用再育苗、插秧,约60天后就能再收一季,既节省人力又增加粮食产量。”谢华安告诉《中国科学报》。

“有盖下白稻,正月种,五月获;获讫,其茎再生,九月熟。”晋代《广志》中已有对再生稻的记载。然而在很长的一段历史时期内,再生稻的栽培技术并不成熟,产量低而不稳,一般只是零星蓄留,作为附带增收或头季遭灾后补救的一种手段。

“通过现代科学技术提高再生稻的

产量和品质,提高土地利用效率,增加农民收益,提升农民获得感,是缓解我国粮食生产压力的有效途径。”福建省农业科学院研究员张建福说,“特别是在热量资源一季有余而双季不足的稻区,或双季稻区只种单季的地区,更适合推广再生稻。”

从2000年开始,谢华安带领研究团队进行再生稻高产栽培试验与示范,着力于再生稻超高产栽培生理、生化深层次研究,不断将超级稻新品种引入尤溪,带动全县不到2年更新一次再生稻品种。

经过不懈探索,他们形成“再生稻超高产栽培集成技术”,总结了针对三大高产指标——“活力强而持久的发达根系、母茎多而健壮、茎蘖比大”的栽培技术措施。

## 头季选种技巧深

再生稻一年两收,分头季和再生季。“我们的工作要从源头抓起,选用再生能力强、优质、抗病稻种作为头季稻种。”水稻研究所研究员姜照伟说。他在团队中主要负责再生稻高产栽培技术研究,从已审定的水稻品种中筛选出再生力强的品种,有针对性地研究栽培和配套技术。

“例如,通过现代分子生物技术找出控制再生力的基因,揭示再生的分子机制,从而将其应用到再生稻材料的创制中,加快再生稻选育进程。”姜照伟解释道。

再生稻在再生季的产量多少,还与再生穗的数量密切相关。想要形成较多穗数,就要尽可能多地保留腋芽。

研究团队通过对192个水稻骨干品种进行再生力鉴定,发现稻具有高节位腋芽萌发优势,而粳稻具有低节位腋芽萌发优势,并鉴定出多个强再生力

品种,为水稻再生力遗传学和南方稻区再生稻品种选育及利用提供了种质资源。

此外,团队还建立了“双调联控”为核心的再生稻高效生产关键技术。通过控肥和控例技术,再生季增产13.6%;通过抗倒耐实现头季株高降低4.1%,倒三、倒四节抗倒伏能力增强21.8%;将传统种植方式调整为机插、直播为主,头季分别增产3.0%和4.6%,再生季分别增产8.2%和15.5%。

“这些技术都为再生稻增量、提效起到了积极作用。”张建福说。

研究团队也凭借“再生稻高产高效生产关键技术创新与应用”研究获得2019年度福建省科技进步奖一等奖。

## 科技富民加把力

“福建号称八山一水一分田,田地少、效益低。之前外出不便,农民只能被困在这里种田。随着交通越来越便捷,外出务工已成为很多农民的生计首选。”张建福说。

再生稻研发不易,让农民愿意种、科学种,坚持种也是一大难题。

上个世纪90年代初,一种名为“稻瘦蚊”的虫害袭击闽中,导致当季水稻基本绝收。“再生稻不一样的生育期恰好避开了这种害虫的危害期,从此,再生稻开始得到重视。”尤溪县农业技术推广站主任卓传营说,随着再生稻高产、品质优等优势逐渐显现,越来越多农户选择种植再生稻。

为提高农户积极性,推广种植再生稻,再生稻研究团队举办各类再生稻技术交流培训,强化不同区域再生稻科研技术沟通协作;相关农业技术推广站则开展再生稻教育和种植技术培训等服务等活动,以增强农民对再生稻的种植意愿;稻种销售点也会在售卖时给农



谢华安观察再生稻头季长势情况。谢华安供图

民推广再生稻;国家则针对再生稻种植农户给予一定的物质补贴,机械耕作收割帮助等,这些举措都对再生稻的推广种植起到了积极作用。

“抽一根烟的功夫,刚收割过的稻桩就能再长出一节。”尤溪县农户曾繁辉感叹道。他种植再生稻20年,已经是县里知名的种粮能手。在福建省各级农技人员的推广普及下,数万名尤溪县的种粮农民逐渐掌握了再生稻种植技术,常常被周围县、乡农民请去讲授技术、传授经验。

张建福介绍,在当前的新品种再生稻技术体系下,全程机械化生产的人工成本比手工栽培减少了62.0%,经济效益提高2倍左右。除福建外,四川、湖南、重庆、江西、广西等南方稻区也已形成一定的再生稻种植规模。

面向未来,他们将进一步突破再生稻产业的轻量化、机械化发展,以更加符合现代农业的发展需求。

## ■进展

### 有机酸改善肉仔鸡肠道健康

本报讯 近日,中国农业科学院饲料研究所(以下简称饲料所)单胃动物饲料创新团队在有机酸通过调节肠道微生物区系组成改善肉仔鸡肠道健康和生长性能的机制研究方面取得重要进展,为畜牧业饲用抗生素替代品的研究提供了重要参考。相关研究成果在线发表于《微生物学前沿》。

饲料所研究员武书庚介绍,在饲料行业全面禁抗的背景下,如何通过

营养调控手段,以肠道微生物为靶点改善动物的肠道健康和生长性能,是保障畜牧产业健康稳定发展亟待解决的问题。研究发现,有机酸可增加肉仔鸡肠道中瘤胃球菌科等丁酸产生菌的相对丰度,改善肠道的绒毛形态以及黏膜的紧密连接结构,维持肠道微生物态的健康和平衡,进而促进肉仔鸡的生长。(张晴丹)

相关论文信息:https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.618144

### 杨树叶片变大机制获揭示

本报讯 多倍体植株通常表现为更大直径、更高高度、更大叶面积和更高生物量积累。在一些物种中已经表明其生长优势中,较大的叶片是最突出的特征。三倍体和四倍体都显示出比同类二倍体更大的叶片,这意味着倍性是多倍体叶片面积更大的主要原因。

近日,北京林业大学教授康向阳、美国密歇根理工大学教授卫海荣作为通讯作者在《新植物学家》发表论文,揭示了生长调节因子5(GRFS)介导的基因调控网络促进杨树叶片的生长和扩展。

三倍体杨树最稳定、最显著的生长优势之一是叶片较大。研究者发现,三倍体杨树叶片平均大小比二倍体杨树叶片大63.02%。研究者从三倍

体和二倍体杨树两个转录组数据中筛选差异表达基因,并进行分析。分析结果显示,PpnGRF5和PpnCKX1的表达量发生了明显变化。

组织学平表达结果显示,杨树三倍体与二倍体相比,PpnGRF5-1在三倍体的顶芽和幼叶中表达量特别高。在二倍体杨树中,PpnGRF5-1过表达转基因株系叶片较大,与三倍体相似。

研究表明,在三倍体杨树中,PpnGRF5-1的表达明显增强,叶片明显变大。这说明在杨树叶片发育过程中,PpnGRF5-1具有控制叶片发育的重要作用。(王方)

相关论文信息:https://doi.org/10.1111/nph.17179