

# 陆地棉高清图育种“地图”定位超级基因

■本报记者 李晨 实习生 鲁晓航

4月，一批早熟棉陆续播种在新疆广袤的棉田中。早熟棉“中棉113”的生长周期不到4个月，而破解其基因密码，则历经了整整4年。

近日，中国农业科学院棉花研究所(以下简称中棉所)研究员马雄风团队成功构建了陆地棉主栽品种“中棉113”的端粒到端粒基因组图谱，并利用该基因组揭示了陆地棉着丝粒(连接一对姐妹染色单体的特化DNA序列)演化与短季适应性遗传基础，为新疆棉业突破“早熟低产”困境、开启“设计育种”时代提供了关键钥匙。相关研究成果发表于《自然-遗传》。

在中国工程院院士、中国农业科学院研究员万建民看来，该研究首次绘制了陆地棉端粒到端粒完整基因组图谱，填补了复杂重复区域的高精度序列空白，为靶向性状遗传解析设定了“精准坐标”。

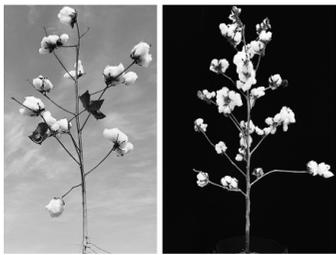
中国工程院院士、华中农业大学教授张献龙指出，这项研究的一个重要创新发现是陆地棉着丝粒特异性的D08着丝粒重定位到卫星重复区域的现象，改变了棉花着丝粒以转座子为主的传统认知，为后续棉花着丝粒多态性以及可能功能关联研究提供了新方向。

## 挑选优良品种作为“底盘”

“我们现在以育种为目标，想要去解析棉花优异性状的遗传机制，那么找到一个特定的、更新的资源材料，才是实现研究目标的最佳路径。”论文通讯作者马雄风告诉《中国科学报》，对“中棉113”的选择，大有讲究。

马雄风介绍，以新疆为主的西北内陆棉区作为我国棉花生产的战略核心，其冷凉干旱的生态条件对品种早熟性提出了迫切需求。然而，传统早熟棉品种普遍面临“早熟低产”困境，早熟和高产两个性状协同提升难度很大，是制约新疆棉花生产的瓶颈。

为此，研究团队创新棉花早熟育种策略，通过分子聚合育种技术，育成早熟、优质、高衣分、高产新品种“中棉113”，实现了多个性状的协同改良，特别符合新疆棉花生产的品种需求。



中棉 113。 中棉所供图

2019年，“中棉113”推出后，迅速得到广泛推广和应用。2022年至2024年连续3年入选农业农村部主导品种。

“有了‘中棉113’这样的优良早熟品种作为‘底盘’，育种工作者就能够进一步对其他迫切需要的生产性状进行改良。”马雄风说，比如让株型更适应高密度种植，同时减少荫蔽问题来提升光能利用率和机械化采收通过率；让棉铃吐絮更集中、叶片同步脱落，以降低机采籽棉杂质含量，提高脱叶剂使用效率等。

马雄风认为，育种是一个不断迭代更新、优中选优的动态过程。正因为“中棉113”是一个优异性状突出的新品种，和以往其他品种资源存在较大差异，进行参考基因组的组装才更有意义和参考价值，才能为深入研究棉花遗传多样性、对目标性状进行遗传解析提供关键材料，为创新发展提供更大的空间和可能。

借助多项先进技术，他们完成了“中棉113”从端粒到端粒基因组的组装，实现了前所未有的基因组连续性和完整性。据了解，这是棉属物种中第一个作为现代生产品种的高质量组装，为陆地棉基因组研究提供了更为精确的参考。

## 高质量组装“放大”基因组细节

“高质量组装带来的惊喜是令人振奋

的。”论文第一作者、中棉所研究员胡冠菁解释道，端粒到端粒(T2T)参考基因组组装，可定义为能够无缺口地覆盖所有染色体，包括对复杂的着丝粒、端粒、核糖体DNA区这些复杂“黑洞”区域的完整解析。陆地棉是异源四倍体物种，基因组中含有A型和D型两个亚基因组，各有13对染色体，总计52条。因为栽培棉花经历了长期的自交纯化，一对染色体之间的序列一致性很高，所以参考基因组组装出26条染色体。

胡冠菁介绍，在水稻、玉米等多种植物中，着丝粒主要由卫星重复序列组成，这是一类短而重复的DNA序列。而陆地棉的着丝粒比较特殊，主要由反转录转座子构成，这是一种可以自我复制并插入到基因组不同位置的DNA序列。

但是，当团队获得了高质量的基因组后却意外发现，在陆地棉全部26条染色体中，D08这条染色体着丝粒并不是反转录转座子，而是和大多数植物一样由卫星重复序列组成——由重复元件以典型的高阶重复结构排布。

结合与其他近缘四倍体棉种的比较分析，团队最终确定其他棉种中依然存在常规的反转座子D08着丝粒，唯独陆地棉中发生了原本着丝粒的失活，并形成了新的重复序列着丝粒。

“实际上，最近陆地棉标准系TM-1的基因组研究也发现了D08着丝粒所在的位置，确认该位点事件发生于异源四倍体化后。而我们的研究对该位点发生时间的尺度测量则更加精细，明确是在陆地棉从其他棉种中分化后发生的。高质量组装就像放大镜，让我们看清楚基因组里的更多细节。”胡冠菁说。

“这个现象在棉花中首次发现，在其他物种中也极少有两种不同类型着丝粒共存和相互动态变化的报道，可以说为着丝粒的起源、演化提供了新的研究视角。”马雄风说。

## 锁定“超级基因”

该研究的另一个创新发现，是锁定陆

地棉D03染色体上一段长达11Mb的早熟关键区段，并揭示其独特的着丝粒横跨+染色体倒位双重复合结构。

胡冠菁解释，在遗传学研究中，主效位点通常指的是那些能够解释大量表型变异的基因或染色体区域。而这一次他们发现的调控棉花早熟的主效位点很大。

这个大型倒位区段的出现，能够追溯到陆地棉早期驯化过程中的半野生地方品种。其后进一步发生变异并受到人工选择推动，从而促使早熟性状形成。

她说，这个区域中的大量基因，包括许多与开花相关的基因，互相连锁着固定下来，能够以“超级基因”的形式整体遗传。传统的遗传学方法之所以无法将陆地棉的早熟“超级基因”拆开，是因为出现了倒位结构变异——区段序列倒置，使得其中所有基因被“打包”遗传、高度连锁。

“这个超级基因区域是深入研究早熟性分子遗传机制的重要资源。”胡冠菁说。此外，棉花的一条纤维即为一个完整细胞，在整个植物界乃至生物界都是相当大的单细胞结构。而棉纤维性状的变化，关系到整个细胞的生长，也就是说基本上所有基因都会参与到纤维性状变化的过程中，如同动用了整个宇宙的力量一般。

“所以很难找到个别功能特别突出的基因，能够让棉花纤维一下子变得特别长、或特别坚韧，这是它的复杂性所在。”胡冠菁说，后续进行的早熟与纤维性状的协同改良研究至关重要。

张献龙表示，该研究充分阐释了半野生棉来源的早熟单倍型在驯化中的稳定传递机制，丰富了棉花基因组结构的认知，并为早熟分子设计育种提供了精准坐标。

万建民强调，从功能基因研究视角看，棉花D03染色体区段内的基因资源发掘具有深远意义。建议利用基因组编辑技术定向优化超级基因区段，实现“设计型品种”的快速创制。

相关论文信息：  
<https://doi.org/10.1038/s41588-025-01230-4>

## 集装箱

### 《2024年液流电池储能产业研究白皮书》发布

本报讯(记者孙丹宁)近日，在第十三届储能国际峰会上，《2024年液流电池储能产业研究白皮书》正式发布。该书由中关村储能产业技术联盟液流电池储能技术专委会联合中国科学院大连化学物理研究所(以下简称大连化物所)低碳战略研究中心共同编制。

中关村储能产业技术联盟副秘书长岳岳表示，作为实现“双碳”目标的关键技术支撑，液流电池凭借其长时储能、安全可靠的技术优势，正成为能源转型的重要路径而广受关注。中关村储能产业技术联盟深耕储能领域多年，这次联合大连化物所，历时半年完成了覆盖中国液流电池全产业链的深度研究报告，集中汇总2024年液流电池技术创新概况与产业化未来发展路径。

大连化物所副所长、研究

员李先锋对白皮书内容进行了详细解读，系统梳理了中国液流电池技术发展现状，并对液流电池储能产业前景进行了展望。

当前，长时储能已成为世界能源科技竞争的战略制高点技术之一。我国正积极布局发展低成本长时储能技术，旨在实现大规模可再生能源高效消纳，推动能源结构调整。自2022年大连100兆瓦/7400兆瓦时全钒液流电池储能调峰电站并网运行以来，液流电池产业进入快速发展阶段。该白皮书对2024年全年中国液流电池储能技术和产业链上下游的发展态势进行全面梳理，详细分析了技术的应用领域和特点，深入剖析了面临的挑战，并基于未来长时储能市场的应用前景，提出了2030年液流电池储能技术的发展愿景。

### 仿生眼技术将加快智能机器人产业化落地

本报讯(记者李晨)日前，仿生视觉产业与投资研讨会在上海举行。上海交通大学仿生视觉与类脑智能研究所所长张晓林在会上指出，视觉是机器人的灵魂，也是机器人智能的体现。仿生眼技术能够加快智能机器人的产业化落地，全面走入社会生产、生活的各个场景。

仿生眼技术，是一种模仿生物视觉系统的人工智能视觉感知技术。由于有包含脑干、小脑、大脑功能的完整智能仿生系统，不同于激光雷达、飞行时间传感器和固定双目，仿生眼在识别、判断能力上具有更全面的优势，且可以根据人工智能的“主观意志”去主动观测“想要”看的物体和部位，是人工智能走向自主意识的关键要素。

张晓林表示，仿生技术的可动双眼设计，使摄像机的应用变得更加多样化。其动态特性具备防抖和跟踪的能力，能够根据需要切换视角，观察任何想要观察的地方。简言之，仿生眼可以让机器人“看”得更清晰，反应也更加敏捷、精准和细腻，而这正是智能机器人实现产业化的突破口。

张晓林介绍，仿生眼技术日趋成熟。国内部分企业已经率先启动产业化应用。今年还将进入农业果蔬采摘、机场空域防护、生态监测和山体滑坡预警等领域。

### 全国首台110千伏环保快速开关型故障限流器并网运行

本报讯(记者叶满山)通讯员王婷)近日，国网甘肃省电力公司在金昌330千伏东滩变电站顺利完成110千伏单相瞬态人工接地短路试验，标志着国内首台110千伏电压等级环保快速开关型故障限流器成功并网运行。

近年来，随着甘肃电力负荷快速增长及可再生能源不断接入，电网规模持续扩大，电网短路电流水平迅速攀升，给电网安全稳定运行带来挑战。

为解决这一难题，在国网甘肃省电力公司设备管理部组织下，国网甘肃电科院联合国网金昌供电公司通过技术遴选、短路电流仿真计算，确定采用110千伏环保快速开关型故障限流器短路电流控制方案。本次试验由国网甘肃电科院总体负责、自主实施，确保试验过程中

的每一个环节都精准无误。

本次110千伏单相瞬态人工接地短路试验采用无人机电抛短路线的方法，全面验证新型限流器在极端工况下的可靠性及安全性。在试验过程中，国网甘肃电科院全程采用光纤同步监测系统，对短路电流等参数进行毫秒级采集，并同步验证快速开关的分闸速度、继电保护动作时间等关键指标，最终成功实现“精准触发—毫秒级限流—设备无损”的全流程闭环验证。

“采用该技术方案，可在短路故障发生后快速投入限流电抗器，在20毫秒内完成短路电流限制，使电网短路电流大幅降低，保证电网可靠性和灵活性，有效提升电网安全稳定运行水平。”国网甘肃省电力公司设备管理部陈维介绍说。

### 第11届先进制造技术与应用材料国际会议在长沙举行

本报讯(记者王昊)日前，第11届先进制造技术与应用材料国际学术会议(I-CAMMT)在湖南长沙中南大学举行。大会设6个分会场，专家学者围绕生物医学材料、金属成形技术、磁声耦合技术、数字孪生技术、绿色制造技术等主题展开研讨。

据介绍，中南大学通过“智能赋能、绿色转型、性能跃升”的三维创新路径，在材料与制造技术领域形成了“基础研究—技术突破—产业应用”的完整生态链。其成果不仅解决了多项“卡脖子”难题，更推动中国从材料大国向材料强国跨越，为全球可持续发展提供了解决方案。

澳大利亚伍伦贡大学教授李会军肯定了数字孪生技术、电炉增材制造技术等新兴技术在提升制造效率和产品质量方面展现出的巨大潜力。香港理工大学先进制造研究院副院长、教授傅铭旺表示，绿色制造技术在减少碳排放和推动可持续发展方面的成效日益显著。高性能材料的研发和应用，如高性能铝合金、镁合金和高熵材料等，成为推动航空航天、汽车和生物医学等领域发展的关键因素。ICAMMT已先后在三亚、杭州等地连续举办十一届。本届会议由中南大学、湖南科技大学及中国机械工程杂志社联合主办。

## 按图索技

### 全球首个导航级精度空芯光纤陀螺问世

本报讯 近日，暨南大学物理与光电工程学院(理工学院)研究员丁伟团队与中国船舶集团第七〇七研究所研究团队展开深度合作，在高精度空芯光纤陀螺领域取得重大进展。相关成果发表于《自然-通讯》。

“我们成功研制出全球首个导航级精度空芯光纤陀螺，其零偏不稳定性达到0.0017°/h，是现有纪录的近1/30，样机连续稳定运行超185小时。”论文共同通讯作者丁伟对《中国科学报》表示，该里程碑式成果标志着我国在空芯光纤陀螺技术领域实现了从理论创新到工程应用研究的完整跨越，为全球惯性导航技术发展

打上了鲜明的中国印记。

自2006年空芯光纤陀螺概念提出以来，该领域逐渐成为研究热点。尽管空芯光纤具有优异的环境适应性，但早期空芯光纤存在模式杂散、背向散射和偏振串扰等技术瓶颈，长期制约了其高精度测量性能的实现。此前，空芯光纤通信技术已实现规模化应用，而空芯光纤陀螺的实用化进程仍显滞后。

该研究通过一系列创新，实现了两大技术跨越。

一是精度突破，首次将空芯光纤陀螺仪提升至导航级精度(0.001°/h量级)；二是环境稳定性，温度灵敏度较实



图为空芯光纤陀螺系统，左侧为光电系统，右侧为光纤环圈。 研究团队供图

芯光纤陀螺仪降低了一个数量级。这些突破为新一代高精度惯性导航系统的发展奠定了坚实的技术基础。(朱汉斌)

相关论文信息：  
<https://doi.org/10.1038/s41467-025-58381-6>

# “起飞”之前，低空经济需要耐心“安检”

■本报记者 陈彬

在空阔的长江航道上，各种货船、客船往来不断，但也有一些船舶出于各种原因，需要长时间停留在某个锚点。对于这类船只，如何进行日常物资补给成了难题。

如果通过补给驳船或将船只开到岸边补给，不但单次补给费用超过千元，一旦船只开动，其他船还可能占据锚点。但如果通过无人将补给物资直接配送到船上，不但可以将单次补给费用降至10元左右，更能每月节省上千吨的碳排放量。

事实上，目前这种新型的补给形式已经形成了一定产业。比如，以此为主营业务的江苏长江江航航空科技有限公司总经理葛加山日前向《中国科学报》表示，仅2024年，该公司便服务了9000多条船舶，送出物资达237吨。

就在葛加山说出这些数字的同时，在隔壁的会议室里，由南京航空航天大学(以下简称南航)主办的低空科技创新发展大会正在进行中，他们讨论的主要话题便是如何让以无人机补给为代表的低空经济“安全起飞”。

## 安全健康发展将是主题

低空经济，是以3000米以下空域为活动范围，以无人机、电动垂直起降飞行器、汽车等为核心载体，通过技术创新与政策支持推动的新型经济形态。

刚刚过去的2024年被称为我国低空经济“元年”。在度过“元年”之后，低空经济在我国的发展势头丝毫不减。

会上，中国航空学会低空经济首席专家董志毅透露了一组数字——在有人机领域，截至2025年第一季度，全国的通航企业共有775家，较2024年末增长了1.97%；在通用航空器共3252架，增长了0.28%。

第一季度的通航累计飞行小时为14.56万小时，增长了10.87%。

相比之下，无人机领域的发展则更为迅速。

数据显示，截至今年第一季度，国内无人机制造业共有800家，无人机运营企业达到24万家，比去年增长了20%，实名登记注册无人机共243万架，增长9.81%，无人机一季度累计飞行437.8万小时，增长了16.41%。

“需要注意的是，所谓‘243万架’仅限于登记在册的无人机，如果将大量未登记无人机、专业机以及个人组装无人机计算在内，其数量将远远超过这一数字。”董志毅估计，目前国内无人机的增长速度在每年100万架左右。

正是在这一大背景下，今年政府工作报告提出，开展新技术新产品新场景大规模应用示范行动，推动商业航天、低空经济、深海科技等新兴产业安全健康发展。

这一表述与2024年政府工作报告中的相关表述有所不同。“2024年政府工作报告的表述为‘积极打造生物制造、商业航天、低空经济等新增长引擎’。相比之下，2024年侧重‘积极打造’，今年则明确提出‘安全健康发展’。”在董志毅看来，这预示着安全健康发展将是今后一段时间低空经济的主旋律。

对此，工业和信息化部相关负责人在此次会议上直言，当前，我国低空经济领域装备产业总体发展态势良好，但也在一些方面，主要体现在无人化、电动化、智能化地控装备的设计保证、质量安全，乃至飞行服务保障等体系建设均处于探索阶段。

“低空产业链的全要素变革带来了系统性安全挑战。”该负责人说。

## 融合安全运行难

事实上，就在今年全国两会结束后不久，已有学者对于低空经济的安全保障问题发表了自己的看法。

在一篇文章中，南航人文与社会科学学院院长高志宏表示，与公共航空相比，低空飞行具有“低、小、慢”的特点，这决定了其安全风险具有一定特殊性。

他指出，一方面，低空经济的快速发展导致特定空域中存在高密度、大容量运行，低空飞行操作简便，对操控员的要求较低，加大了风险事故发生率，客观上增加了风险防控压力；另一方面，与日新月异的低空产业技术，特别是无人机技术相比，低空安防技术进展较慢，难以满足日益复杂的低空飞行安全管控需求。

低空经济的特殊性并不仅限于此。

“比如，低空经济需要应对的安全种类更多，包括国家空防安全、航空器飞行安全、社会公共安全和赛博空间安全，如网络安全、数据安全等。”董志毅说，此外，与高空、中空相比，低空经济的参与主体明显更多，服务场景也更加多样化，且一、二、三产业全都涉及，这些都大大提升了低空经济安全风险。”他说。

在诸多因素中，低空飞行器间的差异带来的“融合安全运行难”问题尤其值得关注。他解释说，目前的低空飞行器分为有人驾驶和无人驾驶，无人驾驶航空器又分为微、轻、小、中、大几个类别。不同种类飞行器的驾驶系统、飞行机理乃至飞行规则都有明显不同，但随着低空经济的发展，同一空域不可能单独划归给某个特定类型的飞行器。“因此，有人机与无人机在同一空域融合飞行带来的安全问题，是我们必须解决的。”

## 耐心的安全保障必不可少

为应对低空经济发展所带来的安全风险，国家做了大量工作。

工信部相关负责人介绍，近年来，我国已先后出台《民用无人驾驶航空器生产管理若干规定》《民用无人驾驶航空器产品信息系统》，还制定了“民用无人驾驶航空器系统安全要求”等37项国家标准，发布行业标准26余项，主导制定并发布了12项ISO国际标准。

尽管如此，要保障未来低空经济能平稳“起飞”，仍有很多工作要做。

比如，传统空中交通管理规则和技术系统主要基于“有人驾驶、有人管控、系统辅助”，该模式已难以适应“异构、高频次、大容量、高复杂度”的低空运行方式。对此，有专家表示，需要开展数字飞行规则的研究，依靠数字低空智能网联体系，建立新的空中交通管理模式，实现向无人驾驶、智能管控、有人监督的转变，由单纯依靠“人在回路内”转向“人在回路外”的智能管控模式。

“低空经济作为一种新型的综合经济形态，不仅要飞行器造出来，更要将飞行器安全地用起来。”南航副校长吴启晖提出，要聚焦低空经济产业发展全链条全流程，有关机构基于低空经济的“政、端、网、云、用”五大要素，即低空政策规范、低空装备研制、低空智联网络、低空运营服务和低空场景应用，深入推进低空产业科技创新，以技术创新服务保障低空经济的产业安全。

吴启晖透露，目前南航正协同国家有关部门，针对空域安全、频谱安全、网络安全、数据安全等问题，研发国内首个低空安全管控平台，在低空安全飞行技术发展方面开展探索研究。

“总之，低空经济在未来‘一飞冲天’是大势所趋。董志毅说，但在‘起飞’前，耐心的安全保障必不可少，如果不能达标，低空经济的‘起飞’一定会受阻。“在这方面，我们要长远打算，不能一哄而上，更不能一蹴而就。”