

破“矛”立“盾”披“甲”，他们撕开水稻种间屏障

■本报记者 李晨

在稻属的 24 个种里面，被人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》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生殖屏障撕开了一个关键裂口。

该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”、“盾”和“甲”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奠定了重要理论基础、提供了种质资源。

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,后来变成团队延续了 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,水稻杂种优势利用有个“三步走”战略。

第一步是利用籼稻和粳亚种内的杂种优势,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锁定的方向。

水稻养活了一半人口,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,是餐桌上的常客;非洲栽培稻虽然产量略逊一筹,却身怀“绝技”,不仅耐高温、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



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

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。这道无形的屏障,阻断了优良基因的交流重组和种间杂种优势的利用。

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,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,发现并克隆了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》。

“此次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、现任江苏省农业科学院种质资源与生物技术研究所副所长张云辉在他的博士论文里研究的。2008 年到现在已经 18 年了。”万建民说,“我们团队有多位研究生,包括赵志刚、余晓文、王超龙等,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。对于这场“持久战”万建民有 3 点感悟:首先,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,这非常重要;其次,要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。

“越是一开始难以解释的研究,往往越是一项好研究。”论文共同通讯作者、南京农业大学教授王超龙说,“碰到困难觉得坚持不下去的时候,可以想想这可能是一个‘风浪越大鱼越贵’的课题,就能坚持下去了。”

水稻细胞里的“自私基因”

用亚洲栽培稻与非洲栽培稻杂交,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?“这个科学问题非常复杂,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,我们能做的就是把 RHS3 这个位点挖掘出来。等技术大幅提升后,再做更多的基因功能解析、演化机制解析。”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。

这个位点上有“矛”“盾”“甲”3 个关键基因。何晓栋解释说:“‘矛’是一个‘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,可以保护配子。而‘甲’只在雌配子里起清除剂的作用,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”。二者杂交所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‘矛+盾+甲’,那么花粉活力就受到了保护;如果携带的是‘甲’,活力就被破坏了。所以花粉整体会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,能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。(下转第 2 版)

神舟二十三号航天员乘组圆满完成出舱活动

本报讯(记者甘晓)据中国载人航天工程办公室消息,北京时间 2026 年 8 月 28 日 13 时 59 分,经过约 5.5 小时的出舱活动,神舟二十三号乘组航天员朱杨柱、张志远、黎家盈密切协同,在空间站机械臂和地面科研人员的配合支持下,完成太阳翼舱外维修、空间碎片防护装置安装等任务,出舱航天员朱杨柱、张志远已安全返回天和核心舱,出舱活动取得圆满成功。航天员朱杨柱时隔 3 年再度漫步太空,航天员张志远首次执行出舱任务。这是我国航天员第二次对太阳翼进行舱外维修,有效确保了空间站供

电的安全性、稳定性。

自 5 月 25 日进驻空间站以来,神舟二十三号航天员乘组完成了在轨轮换、应用载荷出舱等任务,进行了交会对接、医疗救护等在轨训练和全系统压力应急演练,常态化开展空间站平台维护照料、生活和健康保障等工作,承担的空间生命科学、人体研究、微重力物理科学、空间新技术等领域实(试)验任务稳步推进。

目前,3 名航天员在轨工作已超过 3 个月。后续,将按计划持续开展相关科学实验与技术试验、应用载荷进出舱、科普教育等工作。

五部门联合发文 促进构建生态环境科技多元投入格局

据新华社电 记者 8 月 28 日从生态环境部获悉,生态环境部等五部门近日联合印发《关于推动生态环境领域科技创新多元化投入的指导意见》,加快构建多主体参与、多渠道保障、全链条衔接的生态环境领域科技创新多元化投入格局,提升生态环境领域科技创新供给能力和产业化水平,为美丽中国建设提供有力科技支撑。

“近年来,我国生态环境科技创新能力持续提升,为深入打好污染防治攻坚战、全面推进美丽中国建设提供了有力支撑。”生态环境部科技与财务司有关负责人说,同时也要看到,与美丽中国建设需求和科技强国建设要求相比,生态环境领域科技创新投入仍存在渠道相对单一、长期稳定支持不足、金融和社会资本参与不充分、多元主体协同不够等问题,亟须进一步加强政策协同和机制创新,提升创新资源配置效能。

指导意见针对生态环境领域基础研究薄弱、技术供给不足、成果转化不畅、融资难等突出问题,设计多元化、可操作的投入支持模式。围绕加强财政引导作用、丰富金融产品供给、广泛汇聚社会资源三个方面,提出 4 项财政引导举措、3 项金融支持举措和 2 项社会资源投入举措。

在加强财政引导作用、提升资金使用效能方面,指导意见提出围绕地方重大科技需求,针对国家在本地区实施的科技重大项目,建立央地协

同、资金共担、协同推进的工作模式;充分发挥生态环境联合基金作用,强化生态环境领域基础科学研究;对符合国家战略导向、具有显著区域性特征、能够解决区域突出生态环境问题的地方科研项目,按程序纳入生态环境区域科研专项管理;加大新技术推广应用财政支持力度。

在丰富金融产品供给方面,指导意见明确,支持银行、保险、证券等各类金融机构,针对生态环境领域科技创新的融资需求和风险特征,优化金融产品供给,提升金融服务可得性与便利性;支持生态环境科技金融产品与服务创新;鼓励实施生态环境科技金融综合服务。

同时,指导意见还提出广泛汇聚社会资源,形成科技创新合力。包括引导公益捐赠支持科技创新;鼓励企业发挥“链主”带动作用,联合高校、科研院所、产业链上下游、大中小企业等创新主体,共同构建“产学研用”协同创新生态等。

下一步如何推动指导意见贯彻落实?

生态环境部科技与财务司有关负责人表示,指导意见涉及部门多、政策领域广,实施链条长,需要加强统筹协调。生态环境部将会同有关部门健全协同推进机制;选择重点区域、重点领域和重点任务开展先行探索,坚持边实践、边总结、边完善,及时研究解决政策实施中的难点堵点;加强跟踪评估和总结推广。(黄鑫 高敏)

中国科学院院士鄂维南：AI 时代,科研体系怎么建?

■本报记者 沈春蕾

近日,在北京举行的 2026 科学智能大会上,中国科学院院士、北京科学智能研究院学术委员会主任、北京大学教授鄂维南在报告中指出,人工智能(AI)极大提升了科学研究的能力和效率。

在随后的采访中,鄂维南围绕 AI for Science(人工智能驱动的科学)的发展,分享了他在数学、大模型、科研体系、人才培养等方面的思考。

数学不应该被边缘化

问:数学是所有理工学科的基础。你认为数学在 AI 的发展中起到了什么作用?

鄂维南:数学背景对我个人发展来说是很重要的,尤其是在我推动 AI for Science 发展时,数学发挥了很大作用。2016 年前后,AI 只应用于图像识别、自然语言处理等领域。后来我发现 AI 还可以解决一些基础的数学问题。这些问题的突破将带来全方位影响,甚至会让一些科学问题产生很大的改变。

我在 2021 年世界人工智能大会的报告中提到,科研和工程才是 AI 最好的应用场景。当时,我看到的不是某个具体的点,而是 AI 背后的一致性。以前很多问题搞不懂、停滞不前,都是因为维数灾难,即随着维数的增加,计算量呈指数倍增长的一种现象。当我意识到深度学习可以解决维数灾难时非常震惊。如果没有数学背景,估计我也想不到这一点。

问:你会尝试改变数学被边缘化这一现状吗?

鄂维南:会。我正在推动 AI 数理基础的重大项目,希望通过项目牵引来改变现状。我认为,数学被边缘化对 AI 的发展也是一种阻碍。

AI 发展的重大突破依赖工程化,但如缺乏对底层逻辑和基本原理的理解,仅靠经验指导试错,资源的消耗将是巨大的。底层逻辑和基本原

理只能来自数学和物理这样的认知学科,这也是目前 AI 作为一门学科所缺乏的东西。

现有大模型还不能破解科学难题

问:你觉得现有大模型在 AI for Science 上的短板体现在哪些方面?

鄂维南:短板体现在真正困难的科学问题还很难通过现有大模型加以解决。虽然有些团队在投入资源尝试解决问题,但我认为还不能解决根本问题。因为科学对智能的要求本身就是难以解决的问题。比如数学家给出一个证明,他不仅证明了可能性,还列出了证明里的每一个步骤,这些都不在现有大模型的语料里。我认为,科学大模型必须具备非常强的科学推理和科学多模态识别的能力,但这个能力现有的基座模型还不具备。

问:现有大模型不具备科学推理和科学多模态识别能力,是数据问题还是现有大模型基座技术结构问题?

鄂维南:都有。数据显然有问题,而模型结构也有问题。现有大模型基于大语言模型的结构,在这个架构上预测下一个词元,这对解决语言问题来说是通用方式,但图像、空间跟语言完全不是一回事,所以大语言模型不见得可以很好地匹配。

我们做科研,尤其是做实验,需要和物理世界交互、看科学表征数据,这些都不是现有大模型架构擅长解决的问题,因此大模型还要从底层架构上有所突破。

AI 时代需要什么样的科研体系

问:你认为 AI 时代我们需要什么样的科研体系?

鄂维南:我想从以下 3 个方面来谈。

一是科研平权化。我们要打破高校和科研机构对科研的垄断,尤其是要打破少数实验室对科研资源的垄断,让有想法、有能力的个人和团队都能参与科技创新。实现这个目标有一些基本条件,比如低成本、高效率的科研工具资源,多维度科研经费来源,科研成果转化平台等。(下转第 2 版)

最古老昆虫改写登陆演化史

本报讯(记者张楠)中国科学院南京地质古生物研究所研究员蔡晨阳与国际合作者发现了距今约 3.24 亿年的晚密西西比亚纪的全新干群昆虫——先驱乔昔虫,填补了昆虫早期演化的关键空白,修正了学界对昆虫躯体构型演化、泛甲壳动物登陆进程的传统认识。相关成果日前在线发表于《自然》。

蔡晨阳告诉《中国科学报》,本次发现的前驱乔昔虫化石,产自美国得克萨斯州西部马拉松隆起特斯纳斯组的钙质黏土岩结核中,保存完整、结构精细。研究团队清晰解析出其独特的躯体形态特征,厘清了其长期被误判为甲壳动物幼体的误区。

化石标本为雌性成虫,体长 32.09 毫米,包含 1 条中尾丝与 2 条尾须,总长达 49.66 毫米,整体呈纺锤形,具备典型的六足动物和昆虫的衍征,同时保留了原始祖先特征。

系统研究表明,先驱乔昔虫拥有昆虫标志性的产卵器、终尾丝等关键结

构,胸部具分节躯干与六节步行足,符合昆虫躯体构型特征。其最特殊的原始特征在于,腹部 1~9 节均发育分节附肢,且后部腹足特化为桨状结构,这一独特形态从未在现生冠群昆虫中发现。结合古环境分析,该化石产出地层为近岸浅水、三角洲滨岸环境,证实这一早期干群昆虫具备半水生两栖生活习性,栖息于水陆交界的湿润微环境。

研究团队重新修订了 3 件神秘的古生代六足动物化石,包括苏格兰早泥盆世的莱弗休姆虫和美国马宗溪生物群未命名的两类六足动物化石。系统发育重建结果证实,先驱乔昔虫与上述化石共同构成原始的昆虫基干类群。该类群作为目前全球最古老的昆虫化石类群,串联起早期昆虫的演化谱系。

这项研究填补了困扰学界已久的 8000 万年“六足动物演化空缺期”。本次发现的桨状腹足、两栖生活习性直接证明,昆虫登陆并非跨越式演化,而是经历了漫长的半水生两栖过渡阶段。

意大利尝试用章鱼对付入侵蓝蟹



本报讯 近日,约 15 万只章鱼幼体被放归意大利亚得里亚海沿岸海域。这是欧洲首批试点实验之一,旨在测试该物种能否帮助控制入侵的蓝蟹。蓝蟹以本地贝类为食,威胁着渔业和海洋生态系统。“这是一项经过严格控制的试点实验,还不能被视为一种行之有效的控制策略。”美国弗吉尼亚海洋科学研究所的海洋生态学家 Rom Lipcius 表示。

两年前,意大利博洛尼亚大学的水产养殖研究人员 Oliviero Mordenti 和 Antonio Casalini 开始研究章鱼能否成为一种控制意大利北部艾米利亚-罗马涅大区近海蓝蟹的方法。自 2022 年以来,蓝蟹已给该地区渔业造成 1470 万英镑的经济损失。

此前研究已证实章鱼是蓝蟹的天敌,这与当地渔民 10 年来观察到的情况相符。然而,章鱼通常更适应岩石海床,而亚得里亚海沿岸多为沙质海床,这或许可以解释为何近几十年来该地区的章鱼数量一直下降。艾米利亚-罗马涅大区政府已为章鱼安装了人工庇护所,以期扭转这一下降趋势。

Mordenti 和 Casalini 在艾米利亚-

罗马涅海岸捕获了 8 只章鱼——4 只雌性、4 只雄性,并将其转移到实验室,给予它们约 3 个月的时间适应新环境。研究人员将章鱼放进模拟海洋环境的水箱,并进行监测和维护。“我们不仅证实渔民的说法是正确的,还发现章鱼每天最多能吃掉 4 只蓝蟹。”Mordenti 说。随后,研究人员将章鱼配成 4 对,让它们交配、产卵。

如今,科学家将 15 万只体长为 1 毫米的实验室培育的章鱼幼体放归切塞纳蒂科和里乔内的沿海水域。研究人员估计,只有约 1% 的幼体能存活到成年。孵化后,章鱼以浮游幼体形态随水漂流,可能被鱼类捕食。研究人员希望其中一部分能逃脱这一命运,长到足以

捕食蓝蟹的大小。即使体重不足 800 克的小型章鱼,也具备这种能力。

“我们的目标是增加亚得里亚海中自然存在的一个本地物种的种群数量。”Casalini 说。

一些科学家认为,这一策略还需要进一步研究。“蓝蟹繁殖力极强、生长迅速,它们偏好的栖息地往往与章鱼不同。”西班牙海洋研究所的海洋生物学家 Jorge Hernández-Urcera 说。

“一开始就将浮游幼体放归,仿佛在水中播撒小麦种子一样,这似乎是一种相当简单的做法。”意大利那不勒斯费德里科二世大学的动物学家 Anna Di Cosmo 说,“受控环境是一回事,海洋中则完全是另一回事。”(文乐乐)