

新智慧  
xin zhihui

从“弹药库”到“智能锁”

# 水稻与病毒的高阶攻防

李晨

想象一下,植物体内有一座高度自动化的“抗病毒弹药库”。当病毒入侵,弹药库便被激活,持续生产精准打击病毒的“弹药”——小干扰RNA,这是植物最古老、最核心的防御系统。而病毒则进化出了“特工”——效应蛋白P3,潜入并“切断”这座弹药库的“通信链路”,使其瘫痪。

近日,福建农林大学教授吴建国团队联合美国加州大学河滨分校教授丁守伟、清华大学研究员闫利明在《细胞》发表研究,完整揭示了这场“攻防战”的全貌。

## 一场“全链条”科研攻关

在吴建国看来,从分子机制到田间材料的全链条创新是一个完整闭环,这也是这项成果获得了审稿人高度认可的关键。那么,“全链条”攻关是如何进行的?

论文共同通讯作者、福建农林大学副教授赵珊珊介绍,团队首先需要证实独脚金内酯通路是否真的参与抗病毒。研究发现,当独脚金内酯信号受阻时,水稻对多种病毒更加易感,表明独脚金内酯介导了一种广谱抗性。

更重要的发现是,在突变体中,抗病毒RNAi系统的核心“弹药”——病毒来源的小干扰RNA和负责持续生产弹药的“工厂”——RDR1和RDR6基因活性都显著下降。进一步研究证实,独脚金内酯控制的不是防御启动,而是防御信号的持续性放大。病毒不会坐以待毙。研究的下一个关键是揭示病毒的反制策略。

闫利明介绍,他们利用冷冻电镜成功解析了病毒蛋白P3与水稻独脚金内酯受体D14的复合物结构。高分辨率图像下,病毒的“阴谋”一目了然:P3蛋白巧妙地“挤占”了植物内源信号分子D3的位置,竞争性结合在D14蛋白的相同区域。这就如同病毒派出的“特工”,卡住了信号接收器的“锁孔”,从而阻断了整个独脚金内



福建云霄基地抗病毒种质资源 资料图

酯信号的向下传递。

“当看到这一结构时,我们最大的感受是惊喜,因为这与我们的分子生化实验完美契合、互相佐证。同时,也震撼于小小的病毒竟能进化出如此精准的分子反防御策略。”闫利明说。

“这项研究首次在分子机制层面清晰阐明了独脚金内酯信号通路对水稻抗病毒RNA干扰的正向调控作用,实现了该激素信号与动植物中最古老、最核心抗病毒防御机制的贯通。这为解决作物育种中长期存在的“抗病与高产相矛盾”的经典难题提供了全新的理论支点——或许可以只精准增强免疫分支,而不触动发育分支。”

## 从“看得见”到“改得了”的跨越

既然病毒阻断独脚金内酯信号会导致植株既感病又矮化,那么独脚金内酯信号调控发育和免疫是不是同一回事?

团队通过遗传实验发现,在独脚金内酯缺陷突变体中单独过表达ONAC131,可以恢复抗病毒能力,却无法逆转矮化、多分蘖的发育表型。

中国科学院院士、中国农业科学院研

究员钱前赞扬了这一点:“这项研究一个重要的科学贡献,在于揭示了独脚金内酯信号通路在调控植物发育与免疫过程中的‘分兵之道’。”这意味着,独脚金内酯信号通路可以通过不同的下游分支,分别、独立地调控发育和免疫。这为解决作物育种中长期存在的“抗病与高产相矛盾”的经典难题提供了全新的理论支点——或许可以只精准增强免疫分支,而不触动发育分支。

据此,团队设计出能够逃避病毒劫持的突变体,实现从“看得见”到“改得了”的跨越。“更重要的是形成了从基础发现到实际育种应用的闭环。”丁守伟说,通过单碱基编辑将这一优良突变精准导入水稻,实现抗病不减产,提供了一条无需引入外源基因的抗病毒育种新路径。

田间试验表明,改良后的水稻对病毒表现出显著增强的抗性,同时其株高、分蘖数、产量等关键农艺性状与原始品种没有显著差异,真正实现了“抗病不减产”的目标。

“抗病育种长期存在‘抗性与产量常常难以兼顾’的关键难题,该研究提供了具有实践意义的解决路径。”中国科学院院士、中国科学院分子植物科学卓越创新中心研

究员何祖华评价,该工作为理解植物与病毒“道高一尺,魔高一丈”的攻防博弈提供了经典范例,并为设计抗病高产作物新品种奠定了坚实理论与技术基础。

## 跨学科、跨地域的合作

“这项研究本质上是一个跨尺度、跨学科的问题,既涉及田间表型与遗传学,也涉及分子机制、生物化学和结构生物学。”吴建国认为,跨学科、跨地域的合作模式是攻克此类复杂问题的关键。

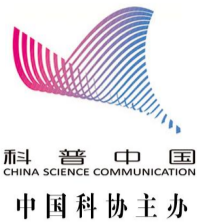
福建农林大学团队提供水稻遗传材料与田间研究基础,加州大学河滨分校团队深耕抗病毒RNAi机制,清华大学团队擅长高精度结构生物学解析。三方优势互补,形成了“田间现象—分子机制—原子结构—育种应用”的完整研究闭环,避免了单一团队的“路径依赖”,极大提升了研究效率与深度。

回顾从田间现象到登上顶级期刊并服务粮食安全的全程,丁守伟最深的体会是,“科学研究其实是一个朴实而长期的过程。本质上,我们只是对一个重要问题持续‘刨根问底’,尽最大努力把它做到极致。”他认为,无论最终发表在什么期刊,只要真正回答了关键科学问题,就是有价值、有意义的工作。

这项研究的意义远超一篇论文。它不仅揭示了植物与病毒间一场精彩而精密的分子层面“军备竞赛”,更树立了一个“解码机制—锁定靶点—精准编辑”的现代分子育种新范式。

吴建国表示,下一步,他们将拓展到更多作物和病原体系,系统解析不同病原的反制策略,筛选可编辑的关键受体或调控节点,并评估对多种病害的抗性效果,同时关注其与产量、品质等农艺性状之间的平衡,推动从基础机制到实际育种应用的转化。

“农业研究看似朴素,却直接关系到粮食安全和人类生存,是最具现实意义也最能产生深远影响的科学方向之一。”吴建国说。



科普中国APP

## 新发明 xin faming

# 常压镍基超导 起始转变温度突破 60K

近日,南方科技大学、粤港澳大湾区量子科学中心的薛其坤、陈卓昱团队实现了常压下最高达 63 开尔文(K)的超导起始转变温度,以及最高达 37K 的零电阻温度,迈斯纳抗磁性的起始温度也较此前纪录大幅提升,各项指标均为新的世界纪录。相关研究成果发表于《国家科学评论》。

如何克服镍基超导相在常压下的热力学不稳定性,并实现更高的超导转变温度,成为领域亟须攻克的难题。为此,团队通过改进自主研发的强氧化原子逐层外延方法,提供比常规方法高出约 1000 倍的强氧化环境,并配合更高的生长温度,有效解决了镍基超导相合成中结构稳定性和超导相所需的精准氧化态之间的热力学矛盾,实现了高质量超导薄膜的一步法原位生长。

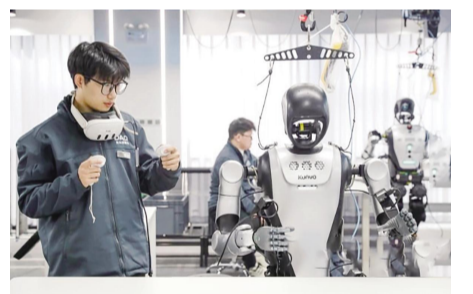
团队在 SrLaAlO<sub>4</sub>(钐镧铝氧)衬底上成功制备出高质量的(La,Pr)<sub>2</sub>NiO<sub>7</sub>(镧钕镍氧化物)外延薄膜,创造了常压下起始转变温度最高达 63K,以及零电阻温度最高达 37K 的性能新纪录。他们发现,超导性能的提升与正常态的“奇异金属”行为存在直接关联。当薄膜达到最优氧化状态时,其输运特征表现为典型的非费米液体行为,这一发现直接将镍基超导的高温超导电性与奇异金属物理联系在一起。

该研究不仅创下了常压镍基超导转变温度的新纪录,还通过高质量的薄膜样品搭建了一个理想的实验平台,可用于探索高温超导的普遍规律。这一进展标志着常压镍基超导研究进入了“60K 时代”,向更高温度的常压超导迈出了坚实一步。

朱汉斌

## 新视觉 xin shijue

# 山东青岛 “启蒙引路”机器人



3月18日,在崂山区松岭路青岛市人形机器人数据采集训练场内,2005年出生的陈云龙头戴VR设备、手持感应手柄,指导机器人完成抓取动作。张进刚

# 江西吉安 劳动教育助成长



近日,在江西省吉安市吉州区五里小学空中菜园,老师和孩子们一起种植农作物。李军

# 宁夏银川 清洁能源助发展



3月17日,位于宁夏回族自治区银川市兴庆区的银川第四光伏电站,一块块蓝色的光伏板在冬日戈壁滩上熠熠生辉,源源不断地输送绿色电能。袁彦彦

## 新资讯 xin zixun

# 图灵奖首度授予 量子信息科学家

3月18日,美国计算机协会(ACM)宣布,将2025年度图灵奖授予美国IBM研究院的Charles Bennett和加拿大蒙特利尔大学的Gilles Brassard,以表彰他们在“奠定量子信息科学基础,并推动安全通信与计算转型”方面所发挥的关键作用。这是图灵奖首度颁给与量子科学相关的工作,标志着量子信息理论首次获得计算机科学界的最高认可。

“在长达40余年的时间里,Bennett和Brassard紧密合作,弥合了物理学和计算机科学这两个原本截然不同的学科之间的鸿沟。他们将量子原理融入计算模型,其研究成果广泛而深远地影响了密码学、算法设计、计算复杂性、学习理论、交互式证明和数学物理等诸多领域。他们的研究也激励了一代物理学家和计算机科学家跨越学科界限开展合作。”ACM在颁奖词中表示。两位获奖人将共同分享100万美元的奖金。

这两位获奖者的研究背景看似毫无关联:Bennett是一位物理学家,而Brassard是一位计算机科学家。早在20世纪70年代,Bennett和Brassard便开始探索那些超越了经典信息技术手段的现象。“当时人们觉得这有点疯狂。”Bennett说,“大家根本没想过,量子效应竟可以用来完成那些经典手段无法实现的任务。”

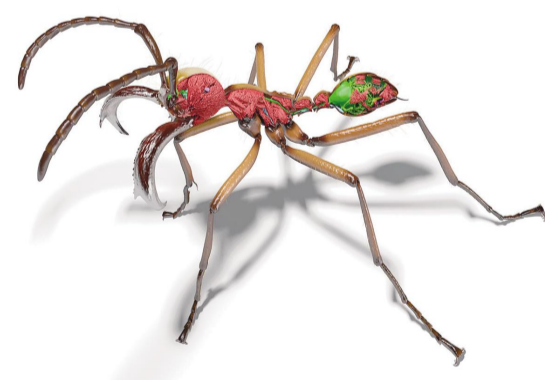
Brassard表示,获此殊荣让他感到“无比喜悦”。他说:“如果在我职业生涯的任何阶段,让我从中挑选一项最渴望获得的荣誉,那非图灵奖莫属。”



Charles Bennett(左)和Gilles Brassard 资料图

## 新发现 xin faxian

# 792种蚂蚁有了3D高清图



基于“蚂蚁扫描计划”绘制的钩齿蚂蚁3D效果图 资料图

近距离看,这只蚂蚁就像一个怪物。日前,在一台粒子加速器的帮助下,科学家对792种蚂蚁的样貌进行了观测。这项研究要归功于生物学家多年的工作——他们积累了大量惊人的解剖学数据,包含微米级尺度的蚂蚁身体内部与外骨骼的详细3D图像。

这项近日发表于《自然—方法学》的成果,介绍了一个名为“蚂蚁扫描计划”(Antscan)的数字数据库,覆盖了现存蚂蚁属的2/3。蚂蚁是当今最多样化的动物群之一。这项成果表明,X光成像、机器人与计算机技术的进步,为大规模采集生物特写图像打开了大门,并可供昆虫学家、艺术家等使用。

美国莱斯大学的Kory Evans评价称,Antscan图像的细节水平与数据广度“简直不可思议”,“完全就是一站式资料库”。

Antscan的雏形始于2019年。当时,日本冲绳科学技术大学院大学的Evan Economo与Julian Kitzke启动了一项工作:用X光扫描约200种蚂

蚁,为蚂蚁基因组图谱项目提供补充。后来,他们结识了德国卡尔斯鲁厄理工学院的Thomas van de Kamp,得以使用一种名为同步辐射显微CT的设备。

这套设备从卡尔斯鲁厄粒子加速器引出一束X光,在穿透样本后从不同角度生成3000张数字照片。由于粒子加速器能产生更集中的光子束,使生成超高精度X光图像变得更为容易,研究人员因此能清晰分辨蚂蚁体内的单个器官。

令人惊喜的是,得益于设备配备的自动样本机械臂、高速相机和高性能计算机,过去扫描一只蚂蚁几乎要花一整天,如今仅需30秒即可完成。打破扫描瓶颈后,新难题随之而来——如何获取足够的样本,以匹配团队不断扩大的科研目标。

在联系全球各地博物馆与实验室后,团队最终收集到数百种蚂蚁。例如,刚果共和国一种长着巨大蜜蜂般眼睛的稀有蚂蚁,一种以剧痛蜇刺闻名的巴西子弹蚁,以及来自朝鲜半岛的吸食幼虫体液的“德古拉蚁”。

最终,团队完成了212个属、近2200只蚂蚁的3D数字档案,覆盖了全球90%的蚂蚁种类。

这项工作已带来新的科学发现。在2025年发表于《科学进展》的论文中,Economo团队报告称,外骨骼较薄的蚂蚁物种,往往拥有更庞大、更复杂的蚁群。这表明,一种成功的演化策略是优先提升个体数量而非质量。

美国伊利诺伊大学厄巴纳-香槟分校的Andy Suarez对这一数据库的前景十分看好,尤其它能补充其团队现有的显微CT数据。“共享资源,才是它最大的价值所在。”

这些图像还可用于其他领域,如电影、计算机图形学或教育展示。美国布鲁斯博物馆的Daniel Ksepka利用Antscan数据,通过3D打印机制作了十几种蚂蚁的放大头部模型。这些西柚大小的头部模型已作为新展览的一部分展出。“只有把它们放大,你才能真正体会到它们的形态有多神奇。”

美国洛克菲勒大学的Daniel Kronauer表示,这些图像并不能满足所有的研究需求。例如,要观察单个神经元,仍需要电子显微镜等精度更高的设备。但他依然认为Antscan潜力巨大,尤其是它让全球研究者都能更方便地获取数据。

Economo表示,Antscan仍有提升空间。例如,将数千张图像自动识别并分割成眼睛、触角等3D结构的技术尚未实现,目前仍需人工处理。团队还希望将扫描范围从蚂蚁大幅扩展到所有能放进同步辐射显微CT的无脊椎动物。

“如果把项目规模扩大,我们就能将数十万物种数字化,投入数字世界。”Economo说,“世界上还有太多微小的生物等待被记录。” 王方