



地下“网络”如何帮作物“传递情报”

■本报记者 李晨

在看似寂静的土壤下，植物正通过一个神秘的社交网络“窃窃私语”。当一株番茄被病原菌侵染时，它并非孤军奋战，而是通过地下真菌构成的“互联网”向“邻居”发出警报，触发一系列连锁反应，帮助整个植物社区增强抵抗力。

这不是科幻小说，而是南京农业大学教授韦中与东北农业大学研究员周新刚联手揭示的自然奥秘。他们发现，从枝根真菌形成的菌根网络能够传递茉莉酸防御信号，改变受体植物根系分泌物的组成，从而招募有益微生物增强抗病性。

这项近日发表于《细胞-宿主和微生物》的成果，首次完整解析了菌根网络介导的植物间互作机制，深化了人们对植物间互作的理解，为绿色农业的发展提供了新思路。

从现象到信号的谜团

“菌根网络这个概念已经提出几十年了。而且，2013 年有研究发现，植物通过菌根网络相连后，一株受病原侵害的植物能将抗性信号传递给邻近植株，但信号物质是什么一直不清楚。”周新刚告诉《中国科学报》，早期研究观察到类似“植物疫苗”的现象，即受侵害植物通过地下网络使健康植物产生防御反应，然而其背后的化学信号机制始终成谜。

周新刚与韦中的合作源于共同的研究兴趣——土壤-植物系统健康。2018 年，有研究提出植物受病原侵染后能主动从根际招募有益微生物，他们就思考“通过菌根网络相连的另一株植物，是否也能获得这种招募能力”。这一疑问成为研究的起点。

菌根网络由从枝根真菌形成，这类真菌能通过菌丝连接不同植物根系，充当植物间信息交流的渠道。然而，生态学观察与植物生理机制的割裂，使得信号物质的鉴定停滞不前。

“现象是生态学的，化合物是植物生理学的，或许正是因为这种差异，两者未能有效结合起来。”周新刚坦言，“我们研究的一个创新之处，正是找到了关键信号化合物——茉莉酸。”



菌根网络调控植物根际微生物组装配。
受访者供图

双室根箱中的信号传递链

实验设计是研究的关键。团队采用双室根箱系统这一经典方法，将番茄植株分置两室，中间用仅允许菌丝通过的尼龙隔开，创造了一个理想的研究环境。两株植物之间只能通过菌根网络进行“交流”，排除了其他干扰因素，从而模拟了自然条件下菌根网络的形成。

“菌根网络的存在形式是极细的菌丝能穿过一定孔径的网，而根系不能。”韦中解释说，“这样就能确保两株植物间只有菌丝连接，排除了根系直接接触的干扰。”

论文共同第一作者、东北农业大学博士生张鲜红介绍，当供体植物被灰霉病菌侵染后，与之通过菌根网络相连的受体植物的叶片病斑面积显著减小，显示出更强的抗病性。随后，团队通过多组学分析揭示了信号传递链条。

转录组测序显示，受体植物中茉莉酸信号通路被激活；高效液相色谱-质谱检测证实，受体植物根系中茉莉酸及活性衍生物 JA-Ile 含量增加。“这说明茉莉酸可能参与了信号传递。”周新刚说，进一步实验证实，茉莉酸是必需的信号。

最关键的证据来自稳定同位素标记——在接受供体叶片施加氘标记的茉莉酸，随后在受体根系中被检测到。“这直接证实了菌根网络能够转移茉莉酸。”韦中强调，“但茉莉酸可能不是唯一信号，还有其他物质或电信号参与，我们目前只证明了茉莉酸的作用。”

信号传递后，受体植物如何响应？团队发现，其根系分泌物组成改变，如 L- 谷氨酸、核黄素等化合物增加，能促进特定有益菌——链霉菌和游动放线菌的生长和根际定植。

盆栽试验中，这些细菌能够激活植物防御基因，增强抗病性。“受体植物通过改变分泌物招募微生物援军，提前布防。”周新刚形象地比喻道。

绿色农业的新曙光

研究成果不仅揭示了自然奥秘，更具有广阔的应用前景。当谈到未来价值时，韦中表示：“我们推测，联合接种形成菌根网络的真菌和特定有益细菌，如链霉菌，或可作为一种生物防治策略，减少农作物对化学农药的依赖。”

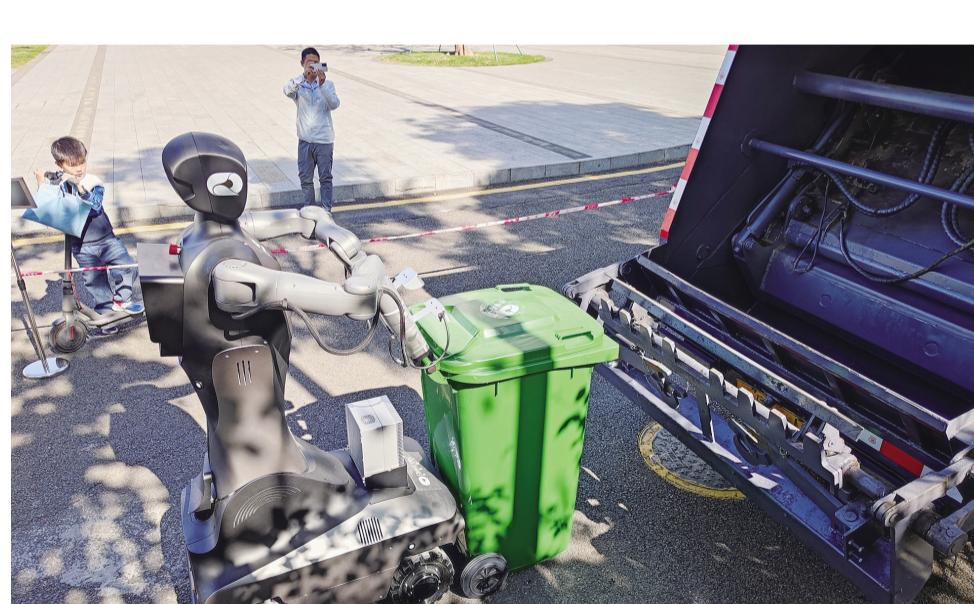
该团队发现，茉莉酸甲酯处理能模拟菌根网络介导的互作效应，激活植物茉莉酸通路，改变根际微生物组，富集有益菌。这提示，在农业中施用类似信号物质或直接引入有益微生物，可增强作物抗性。

对此，韦中提出了“根际益生元”概念，即通过分泌物调控植物根际的益生菌。基于此，可以开发类似于肠道“合生元”的产品，用于田间生产。

该研究首次勾勒出菌根网络介导抑病微生物组装配的较完整路径：从病原侵染到供体植物产生茉莉酸，菌根网络传递茉莉酸，再到受体植物改变分泌物，招募有益微生物，从而增强抗性。这为理解植物-微生物互作提供了新视角，证实植物群落可通过地下网络实现“群体免疫”。

未来，该团队将深入探索其他潜在信号物质及不同植物间的互作。“自然生态中，土壤微生物通路被激活；高效液相色谱-质谱检测证实，受体植物根系中茉莉酸及活性衍生物 JA-Ile 含量增加。”韦中说。

相关论文信息：
<https://doi.org/10.1016/j.chom.2025.08.016>



近日，2025 深圳国际人工智能环卫机器人大赛暨应用创新大赛在深圳举办。大赛聚焦环卫这一民生领域，推动人工智能技术实现全时域、全场景、规模化落地，以科技破解行业痛点，提升城市治理现代化水平。

图为一家公司展示人形机器人智能化转运垃圾桶及环卫作业。

图片来源：视觉中国

推动细胞制造源头创新 构建细胞治疗产业主导权

■王广基 惠利健

近日，党的二十届四中全会审议通过的《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十四个五年规划的建议》将生物制造列为前瞻布局的未来产业。细胞制造作为生物制造的重要内容和技术前沿，是细胞治疗的支柱技术。

在细胞治疗创新的各个环节，细胞制造是决定细胞治疗“安全、有效、质量可控”的核心环节，具有创新性高、工艺复杂、标准严格等特点。因此，有必要在增强细胞治疗潜能的基础上，总结国内外经验，紧扣提升细胞制造先进度与建设从细胞制造创新链到产业链协同生态两个关键点，加大政策支持力度，汇聚多方资源，促进我国细胞治疗产业实现自主可控、高质量发展。

细胞制造面临两个技术挑战

从造血干细胞移植带来的血液病治疗革命，到对血液疗效显著的免疫细胞治疗，细胞治疗为绝症患者带来重生的机会。细胞治疗还为肝衰竭、神经进行性疾病、糖尿病等患者带来了功能性治愈的希望。凭借其颠覆性疗效，叠加政策与资本的双轮驱动，细胞治疗已成为引领生物医药范式变革的新质生产力代表。据估计，全球细胞疗法市

场规模将从 2024 年的 1100 多亿美元增长至 2033 年的近 3700 亿美元。

目前，我国细胞治疗发展迅速，已处于国际前列，并在部分方面向实现全球引领。例如，在全球 15 款获批的免疫细胞治疗产品中，我国占据 6 款；在研发管线方面，源自中国的研究占全球的 1/3；在种子细胞的关键制备技术方面，如转分化肝细胞等，我国处于全球领先地位。

作为细胞治疗的支柱技术，细胞制造的先进度直接决定了细胞治疗产业的高度。细胞制造通过精准调控细胞命运，实现治疗用细胞产品在“安全、有效、质量可控”三大药品属性上的统一，不仅直接关系到有效性，也深刻影响了质量稳定性与临床可及性，是推动规模化生产和细胞治疗产业发展的核心能力支撑。

当前，细胞制造面临两个技术挑战：一是治疗用种子细胞的获得，这是决定细胞药物“有效性”的创新源头，决定了细胞治疗是否“有药可用”；二是细胞制备过程高度复杂且周期长，导致成本居高不下，严重影响药品的可及性与质量可控，使患者面临是否“用得起”的困境。据悉，我国免疫细胞治疗价格约为 100 万元。因此，突破种子细胞的创新，研发更高效的工艺，实现自动

(下转第 2 版)



新成果有望实现“打针治愈艾滋病”

本报讯(记者李思辉 通讯员毓)12 月 1 日是第 38 个世界艾滋病日，宣传活动主题为“社会共治，守正创新，终结艾滋”。近日，武汉科技大学生命科学与健康学院教授顾潮江团队在《细胞》旗下期刊《分子疗法》发表艾滋病治疗最新研究成果，给“终结艾滋”带来新希望。

顾潮江团队创建的“EMT-Cas12a”疗法，是基于工程化外泌体的靶向递送系统。据介绍，外泌体是细胞分泌出来的微小囊泡，里面装着蛋白质、RNA 等生物信息，在细胞之间充当“快递员”。Cas12a 是一种基因编辑工具，能够精准切割 DNA，被称为“基因剪刀”。“EMT-Cas12a”疗法，即用外泌体搭载 Cas12a，进入细胞后精准找到艾滋病病毒，然后将其基因组剪掉，实现功能性治愈。

外泌体是人体细胞自然分泌的产物，可在体外人工改造的细胞中合成，但高纯度外泌体提取难度大，杂质会干扰治疗效果。此外，作为“快递员”的外泌体需搭载足够多的 Cas12a 才能实现治疗，因此必须攻克外泌体提纯和工程化难题。

顾潮江尝试利用外泌体作为“生物快递”进行工程化改造。经过 10 年反复实验，该团队成功开发出全球首个利用外泌体构建的“基因

魔剪”投送与执行系统，可以搭载多组“基因魔剪”对艾滋病病毒进行多点位打击，攻克精准识别和清除潜藏艾滋病病毒的世界难题。

艾滋病目前较为常见的治疗方式有鸡尾酒疗法，近年来出现的免疫细胞疗法和基因疗法。鸡尾酒疗法的目的是最大限度抑制病毒复制，提高患者生活质量和生存率，但无法根除病毒；免疫细胞疗法仅能识别并清除病毒活性复制期的细胞，对潜藏病毒的细胞无效；已有的基因疗法，如通过腺相关病毒作为递送载体的疗法，存在靶向性差、剂量过大引发毒性反应等缺陷。

“EMT-Cas12a”疗法具有靶向性强、安全性高、可多重协同切割等优势。研究人员通过感染艾滋病病毒小鼠和艾滋病人血液样本实验，发现该疗法表现出强大的病毒清除与免疫重建能力，其中一个实验组的 3 只小鼠有 2 只实现艾滋病病毒的完全清除，表明该病毒清除方式高效且可靠。

目前相关技术已通过医学伦理审查，并进入临床研究阶段，未来有望通过静脉注射方式实现艾滋病的功能性治愈。

相关论文信息：

<https://doi.org/10.1016/j.jmthe.2025.11.012>

科学家基于“离子门”效应设计新型分子筛材料

本报讯(记者孙丹宁)近日，中国科学院大连化学物理研究所研究员郭鹏、中国工程院院士刘中民团队与辽宁师范大学教授李国辉团队合作，设计构筑了一种可高效选择性吸附分离二氧化碳/乙炔(CO₂/C₂H₂)的分子筛材料，并结合结构解析及理论计算揭示了吸附分离过程中“离子门”效应的新机制。相关成果发表于《德国应用化学》。

C₂H₂是一种重要的化工原料，广泛应用于石油化工和机械制造等领域。然而，其生产过程常伴随 CO₂ 的生成。目前，CO₂/C₂H₂ 的分离主要依赖高能耗的溶剂萃取和低温精馏方法。相比之下，吸附分离是一种更具前景的分离方法，特别是利用优先选择性吸附 CO₂ 的吸附剂一步获得高纯 C₂H₂。但由于 CO₂ 和 C₂H₂ 的动力学尺寸、极化率等性质十分接近，开发具有优先选择性吸附 CO₂ 的吸附剂仍面临挑战。

本工作中，团队提出基于“离子门”效应的小孔分子筛吸附剂设计策略。研究人员以小孔

CHA 分子筛为研究对象，基于对 CHA 拓扑结构的拆解，设计了理想的骨架外阳离子个数及骨架硅铝比，并通过精确调控分子筛的硅铝比、阳离子类型及含量等参数，构筑了选择性识别吸附 CO₂ 分子的 K-CHA 分子筛，实现了 C₂H₂ 的一步高效纯化。研究还利用 X-射线粉末衍射结构精修，从原子层面确定了 K 离子在 K-CHA 骨架中的位置。进一步结合理论计算表征，团队揭示了 K-CHA 选择性吸附分离 CO₂/C₂H₂ 的机制。

在之前报道的“离子门”效应中，占据孔口的离子会发生短暂停留，使得气体分子扩散通过。而新研究发现，离子与气体分子之间会发生协同迁移，离子在不同晶体学位置上将发生重排，这为“离子门”机制提供了新见解。该研究为设计选择性吸附分离的分子筛材料提供了理论依据。

相关论文信息：

<https://doi.org/10.1002/anie.202522386>

6000 架客机紧急停飞 警惕太阳辐射“隐形一击”

本报讯(记者高雅丽)近日，法国空中客车公司与欧盟航空安全局相继发布声明，要求全球约 6000 架空客 A320 系列飞机紧急停飞维修。声明指出，最近一起涉及空客 A320 系列客机事件的分析表明，强烈太阳辐射可能会损坏飞行控制系统运行所依赖的关键数据。

太阳活动会影响万米高空的飞机？航空业应如何应对此类“太空风险”？国家卫星气象中心(国家空间天气监测预警中心)空间天气预报台长郭建广在接受采访时表示，近两年正处于第 25 太阳活动周的峰年阶段，太阳风暴频发，极端灾害性空间天气事件增多，对高技术系统的影响日益加剧。

“此次事件的核心原因是受到单粒子翻转的影响，同时也暴露出航空电子设备对高空飞行环境中太阳辐射影响应对不足。”郭建广说。

“单粒子翻转”为何让飞机失控？“空间中存在大量高能粒子，当这些粒子射入半导体元器件，尤其是逻辑器件和存储器件时，会导致元器件状态发生翻转，即‘0’变为‘1’或‘1’变为‘0’，从而引发系统功能紊乱。”郭建广解释，虽然这类错误并非永久性的，但严重时可能造成灾难性事故。

民用航空领域已有类似先例。2008 年 10 月 7 日，澳洲航空 72 号航班(空客 A330-303)

执飞新加坡至珀斯航线时，在约 1.1 万米巡航高度突发自动驾驶系统故障，出现两次非指令性俯冲，造成 119 人受伤。事后，澳大利亚运输安全局的调查报告指出，事故因凶很可能与单粒子翻转有关，并建议航空业注意空间天气的潜在影响，加强航空电子设备的抗辐射设计与制造。

我国是空客 A320 系列客机的主要运营市场之一。从应对能力来看，我国已构建起相对成熟的空间天气保障体系。2021 年，国家卫星气象中心(国家空间天气监测预警中心)联合民航气象中心，成为国际民航组织(icao)第四个全球空间天气中心，与其他 3 个中心轮值，为全球民航安全飞行提供空间天气保障服务。该体系对可能影响高频无线电通信、卫星通信、全球导航和定位系统，以及对航空器乘员构成辐射风险的空间天气现象进行监测和预测，并发布相关的《icao 空间天气咨询报》，为航司飞行决策提供科学支撑。

针对此次事件暴露出的防护短板，郭建广建议，航空业需在技术管理层面协同升级，一方面加强软硬件的抗太阳辐射设计，另一方面推动安全理念从“被动应对”向“主动预防”转变。此外，相关部门应高度关注空间天气这种“低概率、高风险”的非传统自然灾害，进一步加强对航电系统软硬件更新的监管。

特朗普想为 AI 启动“创世使命”



本报讯 美国白宫近日启动一项名为“创世使命”的计划，旨在加速该国科研进程。据《自然》报道，该计划将在美国 17 个国家实验室拥有的丰富科学数据集上构建人工智能(AI)模型，并利用其庞大的计算资源开展科研工作。

11 月 24 日，美国总统特朗普签署一项行政命令，指示能源部(DOE)搭建一个平台，使学术研究人员和 AI 企业能够利用政府科学数据开发强大的 AI 模型。作为全球科技主导权争夺战的重要一环，该计划列出了与微软、IBM、OpenAI、谷歌等企业的合作清单。这一规模庞大的公私合作伙伴关系，将让企业首次有机会接触联邦科学数据集，并开展基于 AI 驱动的分析工作。

这项计划的目标之一是“在 10 年内将美国科研与创新的效率及影响力提升 1 倍”。美国总统科学顾问 Michael Kratsios 表示，此举有望“在医学、能源、材料等领域实现突破性进展”。另一核心目标是打造 AI 智能体。尽管特朗普政府一直在大幅削减联邦科研开支，但仍持续为 AI 项目投入资金并给予高度关注。

“创世使命”的规模和时间节点颇具雄心。DOE 需在 60 天内列出 20 项潜在科技挑战，涵盖核聚变、量子信息科学、关键材料等国家重点领域，作为核心攻关方向；同时全面盘点可用的联邦计算资源，确定首批可使用的数据资产，并制定安全纳入外部数据集的方案。政府计划在 9 个月内针对其中一项挑战展示该平台的实际能力。

“这确实是一个令人兴奋的方向。”美国加州大学圣地亚哥分校的 Michael Norman 表示，“DOE 在过去 7 年多时间里一直在为‘AI for science’(人工智能驱动的科学)做准备，而这一行政命令是启动它的发令枪。”

不过，美国国会可能无法为 DOE 提供足够资金以实现这一雄心勃勃的计划。而特朗普已提议在 2026 财年将 DOE 的科学预算削减 14%。因此，AI 相关资金可能需要从其他领域调配。

数据安全与整合是另一个关键问题。负责该计划的 DOE 科学副部长 Dario Gil 与美国斯坦福大学的物理学家 Kathryn Moler 在《科学》发表的一篇评论文章中写道：“将孤立的数据集变为统一的发现引擎，将是一项重大挑战。”许多研究人员认为，将 AI 应用于科学领域能够造福人类。但若企业一味追求超越人类能力的通用智能，且未对 AI 能力设置严格的安全保障或限制，将带来一系列风险。

(王方)