

既保障粮食安全又实现环境友好——

RNA 杀菌剂：“鱼与熊掌”可兼得

◎魏路 本报记者 王春

传统农业杀菌剂是把双刃剑，在提升农业经济效益的同时，也会带来潜在的环境污染和健康风险。如何改变这一现状？既能保障粮食安全，又能实现环境友好的RNA杀菌剂应运而生，成为第三次农药革命的核心产品。

近日，上海交通大学农业与生物学院首席研究员唐雪明团队在国际期刊《现代农业化学》在线发表了题为《植物病原菌中喷雾诱导的基因沉默：机制、应用和进展》的综述文章，系统介绍了外源喷雾诱导基因沉默用于植物病原菌防治的研究，对RNA杀菌剂的作用机制、创制方式和应用前景进行了全面梳理，并对其实际应用提出了建设性解决方案。

针对真菌病害的“靶向药”

植物病原菌是造成植物病害的主要原因之一。这类微生物专门寄生于植物体内，破坏植物的生长发育，导致经济作物减产甚至死亡。

目前，农业生产中植物病原菌的防治主要依靠化学杀菌剂，但因其使用时间长、范围广，导致药物残留、抗药性等负面问题频发。RNA杀菌剂具有高度的特异性和环境友好性，有望为防控植物病原菌提供绿色解决方案。

RNA杀菌剂是一种利用RNA干扰技术来抑制或杀死特定病原菌的新型杀菌剂。RNA干扰是一种真核生物体内自然存在的基因沉默机制。该机制通过双链RNA分子特异性结合同源mRNA，导致mRNA被核酸酶降解，从而抑制特定基因的表达。

“采用RNA干扰的方式进行病原菌防

治，是针对真菌病害的‘靶向药’，也是解除作物农药抗药性的‘特效药’。”唐雪明解释，在RNA杀菌剂中，设计合成的特定双链RNA分子能够与病原菌的mRNA序列互补配对并触发其降解，导致病原菌无法产生某些关键蛋白，进而抑制其生长或导致其死亡。这也是施用RNA杀菌剂不易产生抗性的根本原因。

生物安全性、环境友好性是RNA杀菌剂的突出优势。“双链RNA分子的设计，仅作用于特定病原菌，对人体及其他非靶标生物无毒害。其生产过程清洁化，而且在土壤和水流中72小时内即可降解。”唐雪明补充说。

此外，RNA杀菌剂在农田应用后，很容易被降解成植物肥料。这些植物肥料会被作物再次吸收利用，对农作物和环境都极为友好，可谓“化作春泥更护花”。

创新成果应用潜力巨大

目前，国内外RNA杀菌剂的防治对象主要有引起枯萎病的镰刀菌、引起灰霉病的葡萄孢菌、引起茎腐病的菌核病等。

以烟草花叶病毒为例，它会导致植株畸形病、矮化，甚至死亡，而且防治较为困难，烟草及其他茄科植物都深受其害。

2021年，唐雪明创立的硅羿科技（上海）有限公司（以下简称“硅羿科技”）研发出了烟草花叶病毒RNA核酸干扰素，成为我国第一个进入登记测试阶段的RNA杀菌剂。目前，该RNA杀菌剂田间测试展现出良好的防治效果，能够有效应用于已被病毒感染的植株，减少生产过程中因烟草花叶病毒感染造成的巨大经济损失。

“一般而言，开发一种新的化学杀菌剂需要合成十几万个化合物，耗资巨大且历时良久，但病原菌仅2年左右即可对其产生抗性。相比之下，我们团队研发的RNA



农民对有机蔬菜喷施杀菌剂。

杀菌剂根据特定基因定制开发，无需对基因进行海量匹配与筛选，历时较短且研发成本更低，植物也不易产生抗性。”唐雪明团队成员、上海交通大学农业与生物学院副研究员黄艳娜介绍。

除了烟草花叶病毒RNA核酸干扰素外，国内外还研发了诸多种类的RNA杀菌剂。如美国绿光公司研发的防治葡萄灰霉病的RNA杀菌剂和硅羿科技研发的防治核盘菌的RNA杀菌剂，目前正处在田间小试阶段；中国农业大学研发的防治辣椒疫霉的RNA杀菌剂，在室内生测试验中的效果非常显著。

这些创新成果未来在精准农业、绿色防控、节能减排中将发挥巨大作用。

运用新技术应对研发挑战

随着研究的深入和生产成本的降低，

RNA杀菌剂有望在农业、园艺以及公共卫生领域得到广泛应用，为病害防治提供新的解决方案，并为全球粮食安全和环境保护作出贡献。

“虽然RNA杀菌剂的应用前景十分广阔，但国内外基于RNA杀菌剂的研发多处于室内生测试验阶段，仍面临不少挑战。”唐雪明对此提出了一些建设性的解决方案：如在产品研发过程中，应用生物信息技术和人工智能算法等，可加速产品研发进程；利用合成生物学技术可降低RNA杀菌剂产品的研发和生产成本；创制高效的递送载体可以帮助RNA杀菌剂更好地抑制病原菌繁殖，或进入病原菌体内发挥作用。

当前，RNA杀菌剂的研发和推广正在国家主管部门的指导下有序进行。唐雪明认为，RNA杀菌剂要想进一步推广应用，还需对产品性质、理化性质等方面的评审框架及原则进行更加科学的界定和规范。

叶绿体蛋白转运“马达”之谜揭开

科技日报（记者刘园园）记者9月2日获悉，西湖大学闫焱团队日前在学术期刊《细胞》上连续发表两篇关联论文，揭示了叶绿体蛋白转运的动力机制及其进化多样性，为该领域的研究开辟了新视野。

“叶绿体有‘光能工厂’之称，是植物进行光合作用的主要场所。在这座‘工厂’中，约有3000种蛋白质协同工作，是维持植物生命活动的主力军。”闫焱介绍。然

而，绝大多数叶绿体蛋白都不是叶绿体自己合成的，而是由细胞核编码转运过来的。掌握叶绿体蛋白在植物内部结构中的转运通道和动力机理，就如同获得了开启叶绿体这座“工厂”的密钥。但是目前驱动蛋白质转运的动力来源尚不清楚。

为解答这一难题，闫焱团队利用豌豆构建了一个叶绿体蛋白转运实验系统，捕捉到了叶绿体蛋白在豌豆中转运的一个瞬

间。根据冷冻电镜图像，研究人员初步推测，在转运通道中扮演着“马达”角色的可能是Ycf2-FtsHi复合体。

随后，闫焱团队从拟南芥中纯化出Ycf2-FtsHi复合体，并解析了其高分辨率结构。他们将Ycf2-FtsHi复合体的高分辨率结构与先前从豌豆中获得的冷冻电镜图像进行拟合，发现它们惊人地吻合。

“这一发现直接且有力地证实了

Ycf2-FtsHi复合体正是叶绿体的驱动者，即‘马达’。”闫焱说。

研究人员还进一步探索了“马达”在不同光合生物中的进化多样性。他们发现Ycf2-FtsHi复合体在绿色植物谱系中高度保守，且在不同物种中存在一定的差异性。

“掌握这些机理，意味着人类有望调控叶绿体蛋白转运效率，从而优化光合作用效率。”闫焱说。

微生物治理盐碱地成效初显

◎本报记者 金凤 通讯员 杨芳

系统筛选耐盐碱微生物

“我们已经从新疆盐碱地采集的微生物里，筛选出能依靠亚硝酸盐提供的碳与甲酰胺提供的氮而生长的一种微生物。”

近日，南京工业大学（以下简称“南工大”）食品与轻工学院教授江凌团队成员、南工大副教授刘伟打开实验室一个冷藏柜的柜门，向记者展示了一个微生物的世界。

只见几层柜架上，摆满了培养皿。里面的微生物虽然身份各异，但都有一个共同的使命，那就是贡献出它们的耐盐碱基因，推动盐碱地治理。

最近，团队正在尝试将这些微生物应用于农业，希望能降低微生物菌种发酵成本，高效开发微生物菌剂。



图为新疆阿克苏地区齐兰古城盐碱地。

新疆盐碱地分布范围广、面积大，占全国盐碱地总面积的22%，是潜在的耕地战略储备资源。“极端微生物因其强大的氧化还原能力，以及独特的代谢产物，成为修复盐碱及重金属土壤最理想的微生物之一。”江凌说。

为了“唤醒”盐碱地沉睡的微生物资源，从2012年开始，历经十余年，南工大、南京师范大学、新疆农业科学院微生物应用研究所等机构的科研人员组建的联合研究团队，进行上百次野外科考，在新疆辐射污染区、阿克苏盐山、罗布泊盐湖、冰川一号、艾丁湖等特殊环境中，采集了500余份土壤样本。

“经过系统筛选，我们最终建立了国内最大的来源于新疆辐射、盐碱等极端生境

的农业微生物种质资源库，收录了在极端环境中生长的5297株微生物菌株，并从中发现了乌鲁木齐异常球菌等14个微生物新种。”江凌说。

江凌团队成员、南工大教授朱丽英介绍，从新疆盐碱地中筛选耐受高盐环境，并能促进作物生长的微生物，始终是团队的目标。

团队从农业微生物种质资源库进一步筛选出白蚁菌IS7、芽孢杆菌HM-311等57株菌株。“这57株菌株中，86%的菌株可以在氯化钠含量达10%的溶剂中生存，50%的菌株具有分解无机磷的能力。其中，白蚁菌IS7抗逆性能强，不仅在氯化钠含量达10%的培养基上生长良好，同时具有解磷、解钾、固氮等特性；而芽孢杆菌HM-311对重金属吸附去除率达90%以上。”刘伟说。

开发微生物高效制备技术

想要将发现的极端微生物菌株用于土壤改良，需要将其大规模制备。

“以往制备菌株时，需要抑制杂质产生，灭除不相干的菌，所以要在高温高压的发酵罐中进行，能耗较高。”刘伟说。

团队在经过一年的摸索后，渐渐掌握了一种非灭菌高密度发酵过程放大技术。

“我们将发酵培养基中的磷源替换为亚磷酸盐，氮源替换为尿素和甲酰胺后，发现培养基中并没有滋生其他菌落，且亚磷酸盐、尿素、甲酰胺为筛选获得的微生物菌株提供了丰富的磷和氮。这意味着，将这些物质用于定向培养微生物菌株，可以提高培养的纯度和效率，降低发酵成本。”刘伟说。在此基础上，团队进一步通过人工智能和遗传算法结合的智能模型，对发酵培养基成分进行了优化，以菌株的生物量和发酵体系

中菌群结构为评价指标，确定了最优发酵培养基组分，实现了芽孢杆菌的非灭菌发酵，使原料成本下降了30%。

盐碱土壤修复效果显现

“科研成果只有走出实验室，在厂房车间、田间地头开花结果，才能真正地发挥作用。”江凌说，极端生境农作物种植是个系统工程，考虑到微生物菌剂的应用过程受温度、酸碱度等环境条件影响，团队制备了基于功能菌、海藻糖、生物炭的三联复合微生物菌剂。

“我们将三联复合微生物菌剂应用于在重金属污染土壤中种植的盆栽玉米，发现菌剂固化了土壤中的重金属离子，玉米芽与根对铅离子的富集量分别下降了40.86%和51.34%，玉米植株长度与干重分别提高了23.6%和73.3%。”刘伟说。

我国新疆地区盐碱土地分布广，农业种植难。针对这一问题，团队还与新疆天物生态环保股份有限公司开展联合技术攻关，开发了系列复合微生物菌剂，取得了3项肥料登记证，并在新疆石河子、阿克苏等地区的盐碱地进行了盐碱土壤修复示范工程。

江凌介绍，通过3—5年的推广应用，碱解氮、速效磷、速效钾、有机质等土壤肥力指标分别提高了26.3%、24.7%、40.2%、37.8%。同时，盐渍化土壤农作物的生长与存活率得到有效提升，其中，棉花、沙棘、甘草等作物存活率分别从57%、55%、60%提升至96%以上，亩产分别提升了21.5%、26.4%、18.3%。

“未来，我们希望能筛选出更多耐盐、吸附土壤重金属的微生物，用于改良江苏等沿海区域的盐碱地，以提高土壤肥力、植物产量。”江凌说。

研究进展

构建人工智能框架找到最有效溶菌酶

科技日报（记者叶青）记者9月2日获悉，广东工业大学生物医药学院教授林章凛团队与华南理工大学生物学院副教授杨晓锋团队合作，成功构建出一种新型的人工智能框架——DeepMineLys，并借此框架发现了迄今为止在人类微生物组中最有效的溶菌酶。近日，该研究成果发表于《细胞报告》。

“该研究利用人工智能，从人类微生物宏基因组数据中识别和挖掘出有治疗耐药菌潜力的溶菌酶，这是人工智能用于生物学研究领域的的一个重要突破。”论文第一作者、华南理工大学生物科学与工程学院2018级博士生付一然说。

林章凛认为，DeepMineLys的成功得益于构建了涵盖广泛溶菌酶的全面训练数据集，集成了TAPE等先进算法和编码技术，采用了三层卷积神经网络和双轨架构等几个关键因素，极大地提升了预测性能。

研究团队从前100个候选溶菌酶随机选择了16个进行实验验证，其中11个被证实具有活性，最强的一个溶菌酶的活性甚至比传统溶菌酶高出6.2倍，成为迄今为止在人类微生物组中发现的最有效的溶菌酶。“DeepMineLys不仅能够挖掘溶菌酶，还具备挖掘蛋白质的潜力。由此可见，该框架的构建为未来生物学研究提供了一个有力的工具。”林章凛说。

新型大豆蛋白基水凝胶研制成功

科技日报（记者李丽云 朱虹）记者9月2日从东北农业大学获悉，该大学食品学院教授江连洲团队和教授隋晓楠课题组成功开发出一种基于动态化学键交联的新型大豆蛋白基水凝胶。该成果近日发表在期刊《集聚力》上。

传统植物蛋白基水凝胶在力学性能和稳定性等方面存在局限，对此，团队利用动态席夫碱键与金属-配体键相结合的动态化学键交联策略，成功研制出一种新型环保的高强度大豆蛋白基水凝胶。

与传统依赖加热的水凝胶制备方法不同，团队通过创新的化学反应设计，仅通过简单的搅拌过程，即可促使氧化瓜尔胶中的醛基与表没食子儿茶素没食子酸酯修饰的大豆蛋白中的氨基发生反应，直接形成水凝胶。这一方法不仅简化了制备步骤，还赋予了水凝胶独特的自愈合能力。同时，金属-配体键还促进了蛋白质分子间的交联和团簇的形成，这进一步强化了水凝胶的三维网络结构，实现了对水凝胶性能的精细调控。

通过梯度调控金属-配体键的密度，可实现对水凝胶机械性能、溶胀行为和流变学特性的可调控，大豆蛋白在多种应用中的多样化需求也可被满足。此外，该水凝胶还展现出卓越的自愈合能力、良好的黏附性和可注射性，具备显著的抗菌性能、抗炎效果、调控巨噬细胞极化的潜能和优异的生物相容性。

作为一种绿色、无毒且制备流程简单的多功能水凝胶，它彰显了大豆蛋白在高价值应用领域的广阔潜力。

研究发现

人类迁徙致小麦赤霉病流行

科技日报（记者马爱平）记者9月2日从中国农业科学院获悉，该院植物保护研究所粮食作物真菌病害监测与防控创新团队发现，人类大规模迁徙导致农业耕作制度改变，从而显著影响了小麦赤霉菌群体进化和生态适应性。相关成果日前发表在国际期刊《尖端科学》上。

小麦赤霉病是由镰孢菌引起的主要病害之一，广泛分布于全球湿润和半湿润地区。近年来，中国小麦赤霉病的发生范围不断扩大，流行频率显著上升，由此导致的减产和毒素污染问题威胁粮食安全和食品安全。然而科研人员对小麦赤霉菌的遗传结构及其演化历史尚缺乏深入探究。

“亚洲镰孢菌是我国南方地区小麦赤霉病的主要病原菌。”论文通讯作者、中国农业科学院植物保护研究所副研究员张昊告诉记者，研究人员从江苏、安徽、湖北、湖南、广西、江西、福建、四川和重庆等9个省（区、市）收集了4000余份亚洲镰孢菌标样，并从中选取了245个代表性菌株进行全基因组测序。基于这些测序数据，他们构建了亚洲镰孢菌的泛基因组。

通过对亚洲镰孢菌群体分化与进化历史的分析，研究人员发现，这一病菌群体在过去一万多年的进化过程中，与人类活动引起的农业耕作制度变化有着密切联系。“我们发现，由于战争导致的人口南迁，使农业耕作制度从单一的水稻种植转变为小麦和水稻轮作。在这种稻麦轮作的制度下，病菌群体逐渐进化，形成了对小麦具有更高毒力的赤霉菌亚群体。通过对来自日本、巴西和美国菌株的全基因组分析，我们进一步证实了是人类迁徙导致了小麦赤霉病流行。”张昊说。该研究对指导小麦病害的预测预报与防控具有重要意义。



图为生过赤霉病的小麦。

本版图片由视觉中国提供