揭开植物自我防御的新密钥

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/26470.html

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

揭开植物自我防御的新密钥。

在农业生产中，大量施用的化学农药对环境、人类健康和农业可持续发展带来了巨大挑战。减少化学农药的施用，成为摆在农业生产者和科学家面前的一道难题。

3月13日，一支联合研究团队在《自然》发文称，揭示了一类植物抗病蛋白激活的新机制。论文通讯作者、西湖大学生命科学学院教授柴继杰告诉《中国科学报》：植物细胞内有众多抗病蛋白，这些蛋白在发现并识别病原菌后，可以激活植物强烈的自我免疫反应，以保护其免受病原菌侵害。

牺牲小我服务大我

长期以来，植物先天免疫是国际学术界关注的热点领域，然而受材料与技术的限制，全长免疫受体结构甚至免疫受体更高级的复合物结构，尚未被破解，成为严重制约该研究领域取得进展的瓶颈之一。

从2004年开始，柴继杰带领团队开始在数量众多的植物抗病蛋白中，筛选理想的研究对象，希望设计新型抗病虫育种，减少化学农药的施用。近年来，柴继杰团队在植物抗病蛋白免疫机制研究中取得了一系列突破性进展。

2019年，柴继杰等人合作在《科学》发表两篇论文，揭示了由抗病蛋白组成的抗病小体工作机制。据了解，合作团队不仅发现了抗病小体，还解析了其处于抑制状态、中间状态及五聚体活化状态的冷冻电镜结构，从而揭示抗病蛋白管控和激活的核心分子机制。

在《科学》同期发表的评述文章中，国际植物抗病研究权威科学家、美国科学院院士Jeffery Dangl和英国皇家学会会员、美国科学院院士Jonathan Jones对这一重大突破性成果给予高度评价称：首个抗病小体的发现，为植物如何控制细胞死亡和免疫提供了线索。

据了解，自国际上首次鉴定到抗病蛋白以来，25年期间，多个国际顶尖实验室均未能纯化出可供结构分析的全长抗病蛋白，柴继杰等人的研究填补了学术界25年来对植物抗病蛋白认知的巨大空白。

2020年和2022年，柴继杰团队在《科学》先后发文揭示TIR类抗病蛋白识别病原菌效应因子后会形成四聚化的抗病小体（NAD+水解全酶），其可以催化产生新型核苷类免疫信号分子激活植物免疫反应。

这些年来，柴继杰团队揭示的抗病蛋白结构及机理实在太多了，他自己都有点数不过来，他在给记者解释抗病蛋白时候打了一个比方：蛋白是执行生命功能的一个劳动力，抗病蛋白也不例外，只是一旦启动执行就会引起相应的细胞发生死亡，可谓牺牲小我服务大我，确保侵染部位不会扩散到整体。

先识别再启动免疫

免疫的本质是机体识别‘自我’和‘非我’后，把作为‘非我’的敌人清除掉的过程。柴继杰向《中国科学报》讲诉了植物的免疫过程，首先是识别病原菌，然后是与之对抗。

柴继杰介绍，植物免疫大致可以分为两个层面，在细胞膜上，由膜表面识别受体(PRR）直接识别病原体，包括受体激酶和受体蛋白两类；在细胞内，由核苷酸结合和富含亮氨酸重复序列受体（NLR）识别病原体的效应因子，从而引发免疫效应。

最近几年，柴继杰团队的研究主要围绕胞内NLR抗病蛋白展开。

由于植物体内含有的抗病蛋白量很少，这也是我们研究遇到的最大困难。柴继杰告诉记者，我们团队在实验设计上下了不少功夫，提出了很多精巧的构思，最终顺利提取植物体内证据，完成实

验。

植物的自我防御系统一直存在，只是此前学术界对其知之甚少。

当植物遭到病原体侵袭后，植物作为宿主会进行识别并产生相应信号，进而引起一系列应激反应。柴继杰表示，我们目前知道信号由不同抗病蛋白产生，最后都传导汇聚于钙离子，即植物细胞内重要的第二信使。我们也在逐渐揭示抗病蛋白激活的钙离子信号，是如何激活植物免疫反应的。

柴继杰还指出，植物的免疫是极其精微的调控。免疫也需要讲究一个合适的‘度’，不是‘增强’就够。如果产生的免疫反应的时机不对，或是反应过度都会对植物本身造成负面影响。

柴继杰团队一直希望可以介入植物免疫系统的调控，让它们在合适的时间做出强度合适的免疫反应。

缺少结构域怎么办

此前研究已经发现，在植物基因组中，除了经典的NLR抗病蛋白外，还存在一大类非经典的、仅含TIR结构域的抗病蛋白。

而在与人类饮食密切相关的水稻、小麦、玉米等单子叶粮食作物中，完全缺少此前在双子叶植物中发现的典型TIR-NLR（TNL）抗病蛋白。但是在它们的基因组中，研究人员也发现了编码仅含TIR结构域的抗病蛋白基因。

这些仅含TIR结构域蛋白不仅在由病原菌效应因子触发的免疫反应中起重要作用，它们也在相关的分子模式触发的免疫反应中发挥作用。柴继杰团队发现，这些TIR蛋白可以对病原菌效应因子起反应，但它们确没有此前已经发现的经典识别病原菌效应因子的LRR识别结构域，那么其是如何识别病原菌效应因子并激活的呢？

柴继杰团队在研究TIR结构域蛋白生化功能的过程中，意外发现底物NAD+/ATP分子的新作用，其会快速诱发TIR结构域蛋白发生相分离。进一步研究发现，相分离形成凝聚体的TIR结构域蛋白的NAD+水解酶的活性被很快激活。

我们推测，可能是底物诱导的相分离激活了TIR结构域抗病蛋白的免疫功能。论文第一作者、中国农业大学生物学院教授宋文解释道。

接下来，研究团队在植物体内研究证实，病原菌诱导会使TIR结构域抗病蛋白表达上调，在细胞内NAD+/ATP分子作用下，TIR结构域抗病蛋白形成凝聚体激活。破坏TIR凝聚体的形成，会导致免疫和细胞死亡功能的丧失；重新建立TIR蛋白相分离，又会恢复细胞免疫和死亡的表型。

另据了解，这项研究揭示了植物含TIR结构域抗病蛋白通过底物NAD+/ATP诱导，形成凝聚体激活的新机制，其具有的病原菌效应因子非特异依赖的自主激活特征，赋予了含TIR结构域抗病蛋白以更广泛的身份参与不同的免疫反应过程。这项研究也为粮食作物，如水稻、小麦、玉米的免疫机制研究和培育广谱抗性作物提供了线索。（来源：中国科学报 沈春蕾）

相关论文信息：https://doi.org/10.1038/s41586-024-07183-9

作者：柴继杰等 来源：《自然》

更多 科学进展 请访问 https://www.iikx.com/news/progress/

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，爱科学iikx.com转发