



听(中国科学报) 《中国科学报》官微



科学网 App



科学网官微

# “病小麦”揭开植物“过度免疫”面纱

■本报实习生 胡彬雅 记者 冯丽妃

“没想到会做出这样的成果，更没想到自己原来揣了块宝。”谈及近日发表于《细胞》的研究成果，郭广昊连称“没想到”。郭广昊目前在中国科学院遗传与发育生物学研究所(以下简称遗传发育所)研究员刘志勇团队从事博士后研究。从攻读博士学位至今，他已在这个团队度过了 11 年。

在这项新成果中，他与中英两国导师及国内外同事一道，揭开植物“过度免疫”机制的面纱。其实，这项研究是郭广昊当年为博士毕业准备的“备胎”项目，无心插柳成荫，在多方合作下，启动 7 年的“备胎”竟然转正了。



实验室中用于蛋白表达的转基因植物

## 选一株“病态”小麦做“备胎”

2018 年春天，在遗传发育所位于河北高邑的小麦试验田里，几千行经过诱变处理的小麦材料正在生长——有的株高变矮、有的叶片变黄、有的叶片卷曲……突变表型五花八门、形态各异。它们是刘志勇为改良具有超高产潜力的骨干品系“中科 331”布下的一局棋。

“对这个品系进行诱变，是为了在高产的基础上，提高它的抗病性。”刘志明向《中国科学报》介绍说。

当时，在刘志明团队读博的郭广昊，主攻课题是解析小麦抗白粉病基因 *Pm5e* 的抗性机制。白粉病是小麦顽疾，我国每年受其影响的小麦面积约 1 亿亩，重病田减产甚至达 40%。那段时间，他的研究并不顺利。

“我想在毕业时讲一个完整、精妙的故事，于是决定去找一个‘备份’课题。”郭广昊回忆说。

新课题从何而来?通常，育种家关注的都是试验田里表现优异的小麦，因为这意味着后代性状更优。但郭广昊的目光却被试验田里一株“病态”小麦吸引：这株突变体小麦确实提高了白粉病抗性，但植株矮小、叶片自发坏死。凭直觉，郭广昊判断这可能与植物“过度免疫”反应有关。

在生物学领域，植物如何维持并调控自身免疫能力，同时避免过度免疫，是备受关注的热点与难点问题。

2020 年，郭广昊克隆了导致小麦叶片坏死的基因 *WAI3*。不过，此后这个“备胎”课题便搁置了。一方面，他的主课题迎来转机；另一方面，觉得只发现一个基因，科学新意尚单薄。

这一放，就是两年多。

2023 年 5 月至 2024 年 7 月，在刘志明的大力支持下，郭广昊入选“中国科学院青年科技人才中长期出国培训专项项目”，赴英国塞恩斯伯里实验室访学，师从植物免疫学专家 Jonathan Jones，继续聚焦抗白粉病基因 *Pm5e* 机制研究。在那里，郭广昊遇到了同样毕业于遗传发育所的博士后赵赫，两人十分投缘。他们的实验台紧挨着，经常一起探讨科研问题。一次讨论中，郭广昊提起那个被他搁置的 *WAI3* 基因。

## 推开免疫“新窗”

基因表达的“流量控制”是一大难题。*WAI3* 是一个自激活型免疫受体，其氨基酸突变使蛋白持续处于开启状态，在转基因实验功能验证阶段，会不断触发免疫反应导致细胞死亡。

“我们最开始用的是强启动子，相当于把‘阀门’开到最大。本想让基因多表达，性状更容易出现，结果发现植株坏死得太快，根本拿不到成活的麦苗。”郭广昊解释，由于 DNA 被高强度转录为 RNA，再大量翻译成蛋白，免疫反应被持续放大，幼苗还没长出来就被过度免疫杀死。

为此，他们调整策略，改用 *WAI3* 基因自身启动子，降低表达强度，将“阀门”拧小，最终让植株存活到可观测阶段。

更大的挑战来自蛋白质纯化。结构解析需要高纯度、构象一致的蛋白质，但 *WAI3* 编码的受体蛋白极不稳定且易聚集。他们在茄科植物——本生烟中不断优化提取与纯化条件，改进蛋白表

达策略，终于攻克了这一关。

在植物与病原微生物的长期博弈中，免疫受体 NLR 扮演着关键角色。研究表明，激活后的部分 NLR 可分别形成五聚体、六聚体等抗病小体，并引发细胞质内的钙离子内流，启动免疫反应。但一些特殊免疫受体——G10 类型的 NLR 的激活和作用机制仍然未知，限制了该蛋白的有效利用。研究发现，*WAI3* 基因编码 CC<sub>GL</sub>-NLR 蛋白为了解这类蛋白的抗病机制提供了机会。

冷冻电镜分析显示，激活后的 *WAI3* 形成了一个由 8 个单体组成的“八聚体”结构，位于细胞膜，形成了类似“通道”的复合体。郭广昊解释说：“可以想象成一个房间，膜上有很多窗户，正常情况下窗户是关着的，但 *WAI3* 像一个失控的开关，让‘窗户’一直敞开，钙离子不断灌入，从而持续触发免疫反应。”基于此，他们揭示了植物免疫系统中过度免疫的机制。

“我们的研究相当于提供了 G10 类型 NLR 发挥免疫抑制的实证。”郭广昊说。“长期以来，由于基因组复杂和多倍体等特性，小麦基础研究落后于模式植物。但近年来，小麦生物学研究中的一系列新发现，为植物学研究提供了新的‘模式’。”刘志明说。

研究团队还将视野延伸到拟南芥中的同源蛋白 RPS2。他们发现，*WAI3* 与 RPS2 在进化上属于同一家族，RPS2 在激活后同样可形成八聚体抗病小体结构，引发钙离子内流，表明 G10 类型 NLR 抗病蛋白的作用机制在不同植物中具有高度保守性。

《细胞》审稿人认为，该研究极具创新性，将八聚体抗病小体确立为 NLR 生物学中的新范式，丰富了当前已知

的、数量有限的 NLR 抗病小体结构库，拓展了人们对植物免疫受体多样性与可塑性的认知。

## 深耕田垄，扎实研究

这项研究的背后还有很多不为人知的艰辛。郭广昊从研究生起就研究小麦，他羡慕过研究水稻的同学，因为小麦基因组复杂程度远超水稻，出成果速度也慢得多。“有时难免感到痛苦，比如读博期间抗白粉病基因 *Pm5e* 的研究，投稿被拒了四五次，心里特别难受。”他回忆说。

在搁置 *WAI3* 抗病小体研究的两年多时间里，郭广昊“怕这个发现被别人抢先发表”，也动过见好就收的念头。“如果停留在发现基因导致特定性状的阶段，也算个小成果。但我总觉得，应该再坚持往下做一做。”

回顾科研路，郭广昊由衷感谢两位好导师。他们并未局限于某个预设的课题，而是给予了自由探索的空间，还提供了良好的科研平台与稳定的资金支持，并在关键实验思路予以点拨。正是这份包容与支持，最终促成了此次突破。

两位导师对他的影响更体现在科研理念和态度上。“他们始终强调科研方向要专注，坚持围绕植物免疫领域深耕，反对‘东一榔头西一棒子’的浅尝辄止。”郭广昊说，“从他们身上，我学到最多的是遇到问题切勿轻言放弃，要多尝试、多探索，坚持下去总会找到解决之道。”

刘志明深耕小麦研究多年，过去十年间，带领团队克隆了 14 个小麦抗病基因，约占全世界克隆总量的 1/5。

“可以说，我们在这一领域处于国际领先地位。”在刘志明看来，做农业研究要坚持“两条腿走路”——深耕基础研究的同时，推动成果转化。“找到 *WAI3* 这个基因，搞清楚自激活过度免疫的原理，就可以利用人工智能辅助设计进行定点氨基酸突变，创制出具有抗病特性但不过度激活免疫的新抗病蛋白，同时保持高产特性。”

未来，他们的目标是精准、智能地设计出更多抗病高产品种，减少农药依赖，占领国际基因资源高地，为保障粮食安全和百姓健康出一份力。

相关论文信息：  
<https://doi.org/10.1016/j.cell.2026.02.024>

# 我国将加快推动前沿技术与航运产业深度融合

据新华社电 为加快推动人工智能等前沿技术与航运产业深度融合，培育壮大航运新质生产力，交通运输部、工业和信息化部、国务院国资委、市场监管总局近日联合印发《智能航运 2030 行动计划》，明确“十五五”期间我国智能航运发展的总体要求、重点任务和保障措施。

据交通运输部有关负责人介绍，行动计划以科技创新和产业创新为路径，以场景应用为牵引，明确了两个阶段发展目标。到 2027 年，我国将实现人工智能与航运要素深度融合，核心技术取得突破，建立三个以上智能航

运综合试点区域，开辟五条以上试点航线，打造十个以上可推广的智能航运典型场景，运营百艘以上智能船舶；到 2030 年，我国将全面掌握核心关键技术，形成技术、产业、治理协同发展新模式，智能航运发展达到国际先进水平。

围绕上述目标，这名负责人说，行动计划从技术装备攻关、应用试点赋能、基础设施提升、监管治理提升四大维度，系统部署了 11 项重点任务，着力构建覆盖创新链、产业链、价值链的智能航运发展体系，推动我国智能航运迈向系统集成与规模化应用新阶段。(叶昊鸣)

# 秸秆禁烧政策 改变我国植被火形势

本报讯(记者崔雪芹)近日,中国农业大学资源与环境学院副教授刘超、教授王靖,联合中国科学院大气物理研究所和中国气象局数值预报中心的科研人员,系统性评估了禁烧政策对我国植被火长期趋势和季节变化的综合影响。相关成果发表于《地球物理研究快报》。

该研究核心数据为中分辨率成像光谱仪提供的燃烧面积产品,空间分辨率为 500 米,时间跨度为 2003 至 2024 年。研究将中国划分为东北、华北、西南、华南 4 个次级区域,采用线性回归和突变点检测方法,识别燃烧面积的变化趋势与转折点,并以 2014 年为界,对比政策实施前后燃烧面积的空间分布、季节变化及气候背景。

结果显示,2003 年至 2024 年间,中国年均燃烧面积为 33057 ± 9930 平方公里,其中耕地燃烧占比超 2/3。东北和华北合计贡献了全国 3/4 的燃烧面积,但二者的角色在 2014 年前后发生了根本性转变。

首先,政策驱动下的燃烧中心发生转移。2013 年前,华北燃烧面积占全国比例超过一半;2014 年后,这一比例骤降至全国 10% 以下,而东北占比上升

至超过 2/3。这一转移与国家禁烧政策的实施时间高度吻合,反映出政策对火动态格局的强烈重塑作用。

其次,全国燃烧面积的季模式发生显著变化。政策实施前,全国燃烧峰值出现在 6 月,主要由华北冬小麦收获后即时秸秆焚烧驱动;政策实施后,燃烧峰值提前至 4 月,集中在东北松嫩平原。同时,东北燃烧季节由春秋双峰型转变为春季单峰型,3 至 5 月燃烧面积增长超过 4 倍,尤以 4 月最为突出。

最后,东北燃烧面积激增是政策与环境耦合所致。禁烧政策抑制了秋收后即时秸秆焚烧,但大量秸秆残留田间,经历冬季低温与积雪覆盖,于次年春季在气温回升、雪盖减少后集中燃烧。加之气候变暖进一步加剧火险条件,使得春季燃烧面积迅速扩大。

研究表明,政策干预并未彻底消除我国植被火的潜在风险。尽管禁烧政策在华北取得显著减排成效,但燃烧压力已向东北转移,并可能引发空气污染等次生环境问题。

相关论文信息：  
<https://doi.org/10.1029/2025GL120528>

# 科学家揭示电偶极矩驱动 TNFR1 通路动态结构基础

本报讯(见习记者江庆龄)中国科学院上海有机化学研究所袁钧瑛院士、周界文研究员、刘建平副研究员团队,揭示了电偶极矩作用力驱动肿瘤坏死因子受体 1(TNFR1)通路复合物 I 动态变化的结构基础,首次发现电偶极矩之间的长程相互作用在细胞信号转导中的重要生物学功能。4 月 1 日,相关研究成果发表于《自然》。

TNFR1 是一种多功能的跨膜受体,在细胞死亡、炎症和免疫中发挥着关键作用。复合物 I 是一种包含多种组分的细胞内复合物,可以触发多种下游信号,这些信号的动态平衡决定了细胞是存活还是死亡。在体内,TNFR1 结合配体 TNF $\alpha$  引发的跨膜信号转导依赖于复合物 I。

通过各自的死亡结构域, TNFR1 与胞质内的肿瘤坏死因子受体相关死亡结构域蛋白(TRADD)和受体相互作用蛋白激酶 1(RIPK1)结合,构成了复合物 I 的核心结构。该复合物具有高度动态变化的特点,但其组装和解体的驱动机制一直是 TNFR1 研究中的未解之谜。

研究团队捕捉到复合物 I 的核心,并用冷冻电镜技术解析了其高分辨率结构。这个核心包含来自 TNFR1、TRADD 和 RIPK1 的 31 个死亡结构域单元,组成一个包含 6 层五聚体的螺旋型纤维结构。在 5 个

TRADD 死亡结构域形成的五聚体上下表面,分别结合了两层 TNFR1 或 RIPK1 五聚体。

研究团队进一步发现,3 种死亡结构域通过良好互补的静电表面形成特异性的相互作用,从而组装成高度有序的螺旋型复合物。3 种死亡结构域形成的螺旋型纤维表面呈现出大量正负电荷高度分离的特征,导致 3 种死亡结构域寡聚体之间形成明显的远程电偶极矩相互作用。

值得一提的是,RIPK1 寡聚体的电偶极矩方向与 TNFR1 和 TRADD 的方向相反,这也是 RIPK1 被 TNFR1/TRADD 招募到细胞膜上的原因。此外,当 RIPK1 寡聚体累积到一定程度,相反的电偶极矩方向会产生排斥作用,抵消 RIPK1 与 TRADD/TRNFR1 之间的吸引力,导致复合物 I 核心的解体,从而解释了 TNFR1 复合物 I 的动态行为。

相关论文信息：  
<http://doi.org/10.1038/s41586-026-10304-1>

## 休刊启事

根据出版计划,本报 4 月 6 日休刊。敬请留意。

# 《自然》杂志社论: 中国企业在科研体系中日益重要

本报讯(记者赵广立)近日,《自然》杂志社论称,由于中国正进一步推动科研成果更好地服务于经济发展需求,中国的企业和企业家在国家科研体系中正变得日益重要。

经济合作与发展组织(OECD)公布的最新数据显示,2023 年,中国企业研发投入约占全社会研发总支出的 80%,高于 2015 年的 75%;美国同期比例仅为 70%。

社论同时指出,中国面临的一大挑战是,企业研发投入中仅有一小部分用

于基础研究,且全国在该领域的整体支出仍落后于美国。OECD 的数据显示,2023 年,中国企业部门开展的研究中,基础科学领域占比不足 1%,而美国这一比例为 6%。

社论称,中国当前正致力于加强研究与经济需求之间的联系,已有迹象表明,中国正在落实“企业在技术创新中的主体作用”。例如,国家自然科学基金委员会去年启动“民营企业创新发展联合基金”,鼓励科研人员将基金申请与参与企业的创新需求相结合。

中国目前已出现转变迹象,企业正在提高基础研究所占比重。例如,2025 年 9 月,中国民营企业深度求索公司在《自然》发文,其大模型(DeepSeek-R1)成为首个在国际顶尖学术期刊上通过完整同行评审的主流大语言模型。

此外,公益事业正成为中国科研资金日益重要的另一来源。社论称,与美国类似,中国许多科技企业企业家要么具备技术背景,要么创办了研发密集型产业。文章举例称,腾讯公司创始人马化腾、拼多多创始人黄峥等人,均大力支持研究奖项、

奖学金和资助计划。例如,腾讯“科学探索奖”每年为 50 位获奖者颁发 300 万元,以资助好奇心驱动的研究项目;2021 年,黄峥向母校浙江大学承诺捐赠 1 亿美元,用于支持基础研究。

社论称,这种研究模式已带来回报,使中国能够将大量资源投向人工智能、量子技术、集成电路等关键领域。澳大利亚战略政策研究所 2025 年的一项分析显示,在近 90% 对国家利益具有显著提升作用的关键技术上,中国已处于全球领先地位。

# 全球降低婴儿死亡率目标受挫



本报讯 2015 年,作为可持续发展目标(SDGs)的一部分,联合国为全球设定了一个宏伟目标:到 2030 年,将新生儿死亡率降至每 1000 例活产儿中 12 例或更低。如今距离目标期限仅剩 4 年,仍有 60 多个国家严重偏离了轨道。以肯尼亚为例,新生儿死亡率自 2014 年以来从每 1000 名活产儿中 22 例降至 21 例,只下降 1 例。

据《科学》报道,近日,政策制定者、研究人员和倡导者齐聚国际孕产妇及新生儿健康大会,探讨降低新生儿死亡率的进展为何放缓以及如何重回正轨。

会议发布的研究显示,加强人员培训、完善信息管理简单措施即可发挥作用,但相关工作往往缺乏资金与政治意愿。此外,全球卫生援助大幅削减,包括美国国际开发署相关投入的缩减,可能导致过去 20 年取得的成果付诸东流。

联合国 3 月 17 日发布的一份儿童死亡率报告估算,全球每年仍有 230 万新生儿死亡,这一数字远超艾滋病及其他备受关注的疾病的致死人数。早产约占死亡原因的 18%,其次是出生窒息与创伤、肺炎、疟疾和腹泻。

非洲大多数女性在医疗机构分娩,但研究显示,她们获得的护理往往不够完善。有研究在 18 个月内追踪了马拉维、坦桑尼亚、尼日利亚和肯尼亚 4 个国家 60 家医院新生儿病房的停电情况。这些医院平均每年有 200 天发生停

电事故,导致婴儿暖箱、供氧设备和监护仪器无法正常运行。专业护士短缺是另一关键问题,仅坦桑尼亚就面临 2000 多名新生儿护理护士的缺口。

不过,一系列综合性干预措施能够改善现状。2019 年,23 家以非洲机构为主的组织成立了新生儿健康与护理联盟(NEST360),旨在改善肯尼亚、马拉维、尼日利亚、坦桑尼亚和埃塞俄比亚这 5 个新生儿死亡率最高国家的 130 家医院的护理水平。该联盟为医院提供低成本设备,包括维持婴儿体温的暖箱和恒温床垫,以及呼吸支持设备、黄疸治疗仪器等。

NEST360 还协助培训医生和工程人员来维护设备,并指导医护人员如何规范操作。英国伦敦卫生与热带医学院的 Joy Lawn 表示,呼吸支持设备堪称“救命神器”,但安全使用需要严密监测血氧浓

度,避免造成眼部损伤等并发症。该联盟同时推广非技术类干预手段,如袋鼠式护理,即让婴儿与父母进行肌肤接触,这一方式已被证实能提高婴儿存活率。

NEST360 的研究人员发现,完善数据收集工作同样至关重要,包括记录分娩机构、出生体重、接受护理服务及入院临床诊断等信息。Lawn 称,完整的记录能帮助医护人员做出更合理的诊疗决策,明确哪些措施有效、哪些无效,并为政府制定规划提供依据。

此外,全球卫生非营利组织 PATH 去年 12 月发布的一份报告估算,2025 年,全球针对孕产妇、新生儿和儿童健康的捐助下降了 49%,从 16.6 亿美元降至约 8.5 亿美元。报告预测,若无法补足这笔资金,到 2040 年儿童死亡人数将新增 800 万、孕产妇死亡人数将超 100 万。伦敦卫生与热带医学院的 Alice Tarus 表示,非洲各国政府必须增加新生儿护理的国内预算,“投资新生儿护理既是道德也是经济责任”。(李木子)

# 第五届“天宫画展”在中国空间站拉开帷幕



4 月 1 日,第五届“天宫画展”在中国空间站拉开帷幕。正在太空“出差”的神舟二十一号航天员乘组化身“太空讲解员”,向全国观众展示了在轨展示和介绍。在这场画展中,广大

青少年用画笔描绘自己心中的先锋榜样,表达了对奋斗者的敬意和对中国式现代化的美好向往。  
图片来源:中国载人航天工程办公室、视觉中国