



中国科协主办 科普中国APP

新智慧 xin zhihui

白叶枯病“卷土重来”，他们用20年寻找破解之道

江庆龄

民以食为天，食以粮为本。在人类社会发展的漫长历史中，农作物始终发挥着至关重要的作用。当前，受全球气候变化影响，作物育种面临着新的挑战和需求。其中，农作物病虫害绿色防控不仅是保障粮食安全的关键，也是国家重大战略决策的重要组成部分。如何通过提升植物自身免疫力提高作物产量并减少农药使用，是植物学家和育种专家们持续关注的热点问题。

中国科学院院士、中国科学院分子植物学卓越创新中心(以下简称分子植物卓越中心)研究员何祖华20年前就开始关注“卷土重来”的水稻白叶枯病，试图从分子机制入手探索一条可落地的育种新路径。

近日，这项历时20年的研究成果发表于《自然》。何祖华团队与合作者成功克隆了白叶枯广谱抗病基因Xa48，不仅揭示了其在作物驯化中协调生长与免疫的分子基础，还进一步向应用拓展，重构野生稻广谱抗病性，为作物抗病育种提供了新范式。

植物免疫驯化之谜

“植物病害严重威胁我们的粮食安全与身体健康。”何祖华表示，“我国在使用农药的情况下，每年仍然因病虫害损失粮食至少1800万吨、棉花50万吨、油料90万吨和其他作物1100万吨。”

不过，植物面对病原菌时并非毫无还手之力。虽然它们不能像动物那样产生抗体，但在病原菌感染后感知外来攻击信号，诱导激活免疫基因，进而启动防御反应。何祖华介绍，正如人体免疫系统分为先天免疫和适应性免疫，植物中同样存在两层免疫系统。

其中，基础抗病性(PTI)是植物普遍具备的“底线防御”，对一种病原菌所有变种都具有一定抗性。

专化抗病性(ETI)则更具针对性，往往由植物抗病基因对病原菌相应毒性蛋白的

特异识别所触发，能够对部分病原菌变种产生强烈而有效的抗性，而对其他变种仍主要依赖PTI。“有些像人类接种疫苗后，对特定病毒或细菌形成更有针对性的防御能力。”何祖华说。

植物免疫系统的差异直接影响其对抗病原菌的能力。不同植物，甚至同一群体的不同个体，携带的免疫基因不同时，往往会表现出不同的抗病反应。

在农作物中，这一问题更加复杂。由于产量与防御之间需要维持平衡，从野生种到现代作物的漫长驯化过程中，抗病基因往往会受到差别选择，以适应不同地区、环境下的选择压力。何祖华解释，以水稻为例，籼稻和粳稻两个亚种间存在明显的田间抗病性差异和生殖隔离现象。

作物驯化和长期育种过程是否对抗病基因及其网络进行了选择?其靶点与分子机制是什么?如何在现代作物品种中重构野生种的广谱抗病性?作物免疫领域这三大科学问题，学术界和育种界至今尚未有明确答案。

从田间到实验室

白叶枯病是水稻常见且危害严重的病害之一，通常在台风和洪水之后大面积暴发。该病害由黄单胞菌引起，病原菌通过叶片的水孔或伤口侵入植株，分泌的黄原胶会堵塞维管束，最终导致水稻萎蔫减产。

1995年，首个白叶枯病抗病基因Xa21被成功克隆，但近些年，受全球变暖影响，台风和洪水灾害日益频繁，黄单胞菌变异速度较快，单一抗病基因品种推广3~5年后抗性易被“击穿”。白叶枯病已成为我国多个稻区的重要威胁。

要应对这一新的流行态势，必须找到新的抗病基因。

20年前，在白叶枯病刚刚重新“冒头”的时候，何祖华团队便开始围绕此问题展开攻关。

论文第一作者、分子植物卓越中心副研究员林辉介绍：“从核心种质资源中鉴定出关键抗病基因，进而培育抗病高产作物新品种，是防御病害最经济、最有效的途

径。”

在前期研究中，团队利用能“攻破”Xa21抗性的毒性菌株开展大规模筛选，在籼稻品种“双早”中鉴定到一个新的白叶枯病抗病基因Xa48。该基因编码的免疫受体蛋白XA48属于核苷酸结合和富亮氨酸重复序列(NLR)蛋白受体，可在水稻整个生长期内帮助其抵抗白叶枯病侵袭，显示出很高的育种应用价值。

但在进一步探索过程中，各类问题接踵而至。其间，团队曾在一个关键问题上“卡”了好多年，也曾受一篇论文启发豁然开朗。最终，他们阐明了XA48与病原菌分泌的毒性蛋白协同激发免疫的新模型。

黄单胞菌感染水稻后，XA48能够特异性识别“敌人”分泌的毒性蛋白XopG，两者结合后，XA48迅速发生寡聚化并组装成离子通道，引发植物细胞内钙离子内流，进而启动免疫反应。

不仅如此，XA48还能够促进XopG与维管束特异指蛋白(VOZ)家族两个同源蛋白OsVOZ1/2结合，并介导其降解，从而移除免疫抑制“路障”，最终增强水稻对白叶枯病的抗性。

团队进一步分析了3000多份水稻种质资源中的Xa48等位基因。结果显示，Xa48在籼稻中被保留下来，而在粳稻中逐渐丢失。这一差异与产量代价密切相关——Xa48-OsVOZ1模块会严重影响粳稻产量，却不会对籼稻产量造成明显影响。

团队还推测，我国农业水利灌溉体系间接影响了籼稻和粳稻的抗病性。“籼稻传统上种植于白叶枯病频发的长江以南地区，粳稻种植于水患较少、病害压力相对较小的长江以北地区。”林辉指出，“随着农业人工灌溉体系的建立和种植格局演化，病原菌压力在不同地区呈现差异化分布，也使Xa48在部分南方籼稻品种中被保留，而在粳稻中逐步失去功能。”

从实验室回到田间

从田间发现问题到实验室解析机制，再到从驯化与生态选择角度解释抗病基因命运的完整路径，已清晰呈现。但对何祖华

团队而言，这不是终点。

“我们的长期目标是为育种家挖掘抗病基因、设计分子标记，帮助他们开展高效抗病育种。”何祖华强调，农业科学必须从田间到实验室，再回到田间经受实践检验。

基于这一思路，团队并没有停留在Xa48的发现和机制阐明上，而是进一步着眼于如何把基础研究成果转化为育种策略。

考虑到Xa21和Xa48分别介导PTI和ETI免疫反应，两者在功能上具有互补性，团队尝试将Xa21与Xa48整合到同一水稻材料中，构建出针对白叶枯病的双基因抗性组合。

结果令人振奋。在经历台风、洪水等极端胁迫后，Xa21Xa48水稻品系在不同稻区保持稳定抗性，且不影响产量等重要农艺性状。

“我们首次在作物中证明，两个免疫网络的叠加可以重构野生稻的广谱抗病性，为破解作物病害绿色防控难题提供了新思路。”林辉说。

目前，何祖华团队已围绕相关成果申请专利。团队构建的水稻品系已被多家育种单位直接应用于抗病新品种培育，实现了从基础研究到育种应用的有效转化。

这也是何祖华团队继2017年在《科学》发表对真菌病害稻瘟病的广谱抗病基因Pigm以来的又一重大成果。此前，利用Pigm培育的抗病高产新品种已累计推广3000多万亩。

“何老师在抗病性与产量平衡方面做得十分出色，我们期待这项成果未来在应用层面取得更大成效，中心也将继续支持相关成果转化工作。”中国科学院院士、分子植物卓越中心主任韩斌说。

值得一提的是，这项工作的意义并不限于此。

白叶枯病是一种典型的细菌性维管束病害。这类病害在农作物中十分常见，往往会导致植株枯死，造成巨大损失。但一直以来，相关抗病育种工作都缺乏实质性突破。何祖华表示：“我们之所以围绕这一问题持续攻关20余年，正是希望借此开辟维管束病害抗病研究与育种的新赛道。”

新发明 xin faming

新技术让豆粕变身“淡水产水器”

近日，笔者从海南大学获悉，该校教授肖娟秀团队利用大豆加工副产物豆粕，研发出一种淀粉样蛋白纤维基生物蒸发器，构建了“淡水—粮食—材料”绿色闭环体系，为沿海及岛礁地区低成本、离网化可持续农业生产提供了新路径。

当前，全球有超过1/3的农村人口正面临不同程度的粮食安全威胁，这一挑战在淡水与耕地匮乏的沿海及海岛地区尤为严峻。海水淡化农业作为应对这一挑战的手段，已在部分沿海国家成功应用，是保障粮食安全的主要技术方向。

然而，传统反渗透淡化技术高度依赖大规模电网与复杂基建，在能源匮乏、维护困难的偏远岛礁难以推广。此外，常规淡化工艺对海水中硼元素的去除效能有限，残留的硼离子易诱发作物的生理毒性，抑制农作物产量提升。

针对上述难题，研究团队提出了一种太阳能驱动循环海水农业系统。该系统以太阳能为核心驱动力，将海水转化为高质量灌溉水，同时实现农作物生产与农业废弃物的高值利用。研究以大豆加工副产物豆粕为原料，通过蛋白提取、纤维化、定向冷冻干燥及原位功能化等步骤，将其转化为淀粉样蛋白纤维生物蒸发器。同时，大豆秸秆被制备为有机肥料用于土壤改良，实现农业废弃物“反哺”系统的良性循环。

林靖雯

新视觉 xin shijue

安徽芜湖生态小龙虾 富民促增收



近日，在安徽省芜湖市繁昌县孙村镇义兴村，养殖户在投喂小龙虾。 鲁君元

河北石家庄 珍爱自然资源 守护美丽中国



4月22日，河北省石家庄市栾城区各中心小学组织开展“珍爱自然资源 守护美丽中国”主题活动，引导小学生从身边小事做起，珍惜资源、爱护环境，共同守护美丽家园。 李明发

浙江德清 新材料生产忙



4月21日，在浙江省湖州市德清县雷甸镇(高新区临杭产业新区)浙江和顺新材料有限公司车间，工人正在赶制一批出口的聚酯薄膜。 王树成

新资讯 xin zixun

鼎湖山保护区 首次拍摄到白尾双足蜥

近日，广东鼎湖山国家级自然保护区(以下简称鼎湖山保护区)科研监测团队联合志愿者，在该保护区及其周边开展陆生脊椎动物固定样线调查时，发现并拍摄到白尾双足蜥活体影像。这是鼎湖山首次记录到该物种。

白尾双足蜥是爬行纲有鳞目双足蜥科双足蜥属动物，外形极具辨识度，体形似蚯蚓和盲蛇，成体体长约12~18厘米，躯体纤细圆筒，四肢高度退化，仅雄性留存一对短小瓣状后肢，雌性完全无四肢；躯体覆盖光滑的覆瓦状圆鳞，体色以浅褐、紫褐或暗灰色为主，头部短小，眼睛退化并隐置于鳞片之下，尾部末端纯白色是其最醒目的识别特征。

该物种堪称山林里的“神秘隐士”，常年栖息于林下土壤缝隙、腐殖层或石块下方，营地下穴居生活，昼伏夜出，极少暴露在地面，野外观测概率极低，是我国南方爬行类中观测难度最高、野外记录最稀少的类群之一，相关野外实证资料十分稀缺。其完整生活史、繁殖行为、种群规模等基础信息至今仍十分匮乏。

目前，白尾双足蜥已被列入《有重要生态、科学、社会价值的陆生野生动物名录》，在《中国生物多样性红色名录——脊椎动物卷(2020)》中被评为易危等级，具有较高的保护与研究价值。此次白尾双足蜥的观测记录为研究其栖息习性、种群扩散提供了珍贵素材。

朱汉斌 张泽坤



白尾双足蜥与蜜蜂对比照 方锐坚

新发现 xin faxian

农药可能严重破坏肠道微生物



资料图

如今，越来越多的研究证明，农药可能会破坏肠道菌群。科学家指出，这会引发一系列健康问题，包括全球非肥胖人群中的2型糖尿病发病率上升。

总的来说，那些在工作中长期接触农药的人面临的风险最高，但在家中使用农药同样会影响肠道菌群。英国伦敦国王学院的Robin Mesnage表示：“反复低剂量接触具有生物活性的化学物质，或许不会立刻出现剧烈反应，但会形成一个长期的选择性压力。”

2023年，全球农药使用量达373万吨，约为1990年的两倍。长期以来，相关健康风险研究主要集中在急性中毒、神经毒性和癌症方面。但是，用于研究复杂微生物生态系统的新型基因技术，如今已能追踪杀虫剂对肠道菌群的影响了。

印度KMCH研究基金会的Velmurugan Ganesan对印度南部近3000人开展了一项研究，发现城市地区23%的参与者患有糖尿病，且多与肥胖、高胆固醇等典型危险因素相关；农村地区的糖尿病患病率为

16%，但与这些危险因素无关。Ganesan说：“我们开始怀疑，环境化学物质是否在其中发挥了作用。”

随后，团队在小鼠身上研究了一种广泛使用的农业杀虫剂——氯氟菊酯的影响。以往动物实验多采用短时间内高剂量给药，但他们根据印度日常饮食中的农药残留，采用所谓的“现实剂量”，持续120天给药。这项去年发表的研究显示，氯氟菊酯重塑了小鼠肠道菌群，其中乳酸杆菌等有益菌数量下降，幽门螺杆菌等潜在有害菌增多。即便体重没有增加，接触农药的小鼠也出现了高血糖和糖尿病症状。

目前，团队正在分析糖尿病(含肥胖与非肥胖)患者及健康对照组的血液、尿液和粪便样本，以验证这一规律是否适用于人类。“我们正试图证明，由环境化学物质诱发的糖尿病与生活方式相关的糖尿病在发病机制上是截然不同的。二者可能需要不同的临床治疗方案。”Ganesan说。

农药似乎不仅改变了菌群数量，还会影响它们的代谢活动。在2025年的另一项大型研究中，科学家将17种人体肠道细菌暴露于18种农药

中，并检测到微生物产生的数百种小分子物质发生的变化，其中包括短链脂肪酸、胆汁酸和色氨酸相关分子。这些物质能维持肠道黏膜健康、调节炎症反应、调控免疫功能。

领导这项研究的美国耶鲁大学的Caroline Johnson表示：“大多数研究只关注农药对肠道菌群组成的影响，而这项研究表明，影响远不止于此。”团队还发现，部分细菌会在细胞内蓄积农药，这可能延长它们在人体内的停留时间，增加长期健康风险。

通过改变肠道细菌的代谢产物，农药还可能影响大脑信号传导与免疫反应。动物实验显示，接触氯氟菊酯与抑郁行为相关，同时伴随肠道菌群改变。爱尔兰科克大学的John Cryan说：“这并非单一机制，而是一系列生物效应网络，最终会扰乱肠-脑轴的信号交流。”

但Cryan提醒，证实因果关系是该领域最大的难题。即便是对照动物实验也无法确定行为改变是由菌群紊乱，还是农药直接作用于大脑所致。近期一些实验开始弥补这一缺口：在动物研究中，仅通过粪便菌群移植等方式就足以改变行为，表明肠道微生物确实起到了因果作用。

农药对人体是否存在类似影响目前仍不明确。与实验动物不同，人类往往常年接触多种混合化学物质。Mesnage团队在130名英国人尿液中检测出186种常见农药的残留，结果令人意外。所有参与者的尿液中都检出拟除虫菊酯类或有机磷类杀虫剂残留，且蔬果摄入量更高的人残留水平更高。此外，尿液中农药残留水平越高，肠道菌群组成与代谢变化越明显。Mesnage表示，家庭使用的农药或宠物杀虫剂也会增加暴露风险。

王方