

破译“通婚”密码： 十字花科植物如何借他山之石攻玉

■本报记者 李晨

蜜蜂在花丛中穿梭,就像忙碌的“月老”,在不经意间牵起无数“红线”。令人惊奇的是,每一朵花的雌蕊都拥有绝佳的“眼力”,能从混杂的花粉中,一眼认出“意中人”,从而牢牢守住物种之间的界限。这背后的奥秘,深深吸引着科学家。

每年春秋时节,山东农业大学园艺科学与工程学院教授段巧红的实验田里,各类十字花科植物的花朵会渐次绽放。

每天清晨阳光洒落,花朵初绽,段巧红便带领团队如蜜蜂般细致地为花朵授粉。这项工作他们一坚持就是近 10 年——只为揭开十字花科植物远缘生殖隔离的深层奥秘。

近日,他们的研究成果发表于《科学》。这项工作成功鉴定出触发十字花科植物远缘生殖隔离的关键花粉信号分子 SIPS,解析了远缘花粉与雌蕊柱头的识别机制,并基于此开发出高效远缘育种技术体系,让十字花科蔬菜远缘育种驶入快车道。

看得见的宝藏,打不破的墙

在千万年的进化中,被子植物产生了自交不亲和和机制,即雌蕊的柱头能特异性识别并抑制自花花粉的萌发和受精,从而促进异花授粉,避免近交衰退。所谓近交衰退是指由于父本和母本的亲缘关系过于接近,导致其后代出现生活力下降、适应性降低、繁殖力下降等衰退现象。

很多自交不亲和植物都依靠蜜蜂等昆虫传粉。当蜜蜂身上携带的不同植物的花粉落在雌蕊上时,柱头并非被动接受,而是能从不同物种的花粉中准确识别并接纳适合自己的同种花粉,同时识别并抑制其他物种的花粉。这一神奇的“择偶”能力背后,藏着严密的“生殖隔离”机制。

种间生殖隔离指不同物种之间无法成功受精或无法产生可育后代的自然现象。中国工程院院士、华中农业大学教授邓秀新强调,远缘杂交育种是利用野生近缘种优良性状提升栽培种遗传多样性的的重要途径,但受到生殖隔离障碍的制约。

中国工程院院士、中国农业科学院作物科学研究所研究员万建民指出,生殖隔离既是物种形成与维持的关键机制,也是作物远缘杂交育种的主要障碍。

在我国,十字花科蔬菜在蔬菜产业中占据举足轻重的地位,栽培面积占总面积的 25%以上。白菜、甘蓝、萝卜等日常蔬菜都属于这一科。然而,在长期的人工驯化过程中,作物丢失了大量抗病虫、抗逆等优良抗性基因。这些基因在野生近缘种中得以完整保存,成为育种家眼中的“宝藏”。

论文共同通讯作者段巧红告诉《中国科学报》,以欧洲山芥为例,这种十字花科山芥属野生植物对小菜蛾等害虫具有极强的抗性,是提高白菜抗性的理想基因供体。但长期以来,育种家屡屡尝试通过远缘杂交将其优异抗性基因导入白菜,都因生殖隔离而失败。

传统远缘杂交育种就像盲人摸象,育种家只能通过大规模测交来筛选可用材料,耗时、耗



段巧红（左二）和团队成员在讨论课题。
受访者供图

力且效率低下。“打破远缘物种的生殖隔离后,能更有效地利用其他物种的优异基因改良栽培种。”段巧红说。而不同物种之间,都可以互称为远缘物种。

触发生殖隔离的远缘花粉“通用标识”

段巧红团队从一开始就关注到了十字花科蔬菜的育种困境,并由此凝练出 3 个亟须解决的科学问题:雌蕊柱头上识别远缘花粉的受体是什么、花粉上携带的远缘信号分子是什么、远缘花粉是如何被柱头抑制的。团队围绕这 3 个关键科学问题,对十字花科植物种间生殖隔离机制展开系统研究。

2023 年,他们在《自然》发表论文,首次揭示了柱头受体 SRK 不仅识别自花花粉,还识别远缘花粉,并启动柱头活性氧这一防御系统,抑制远缘花粉生长。这一发现解答了两个关键问题,并将自交不亲和与远缘杂交生殖隔离联系起来,为后续研究奠定了基础。

“我们发现 SRK 受体同时参与两种生殖隔离时,就像在迷宫中找到了一条新路径。”段巧红回忆道,“然而,《自然》那篇论文虽然找到了识别远缘花粉的受体,但花粉上携带的远缘信号分子是什么还不知道。”

团队决定以 SRK 受体为“诱饵”,采用“双管齐下”的策略,同时使用酵母双杂交和免疫共沉淀技术,在花粉总蛋白中寻找互作蛋白。这两种方法分别筛选出 45 个和 800 多个候选蛋白,令人惊喜的是,它们的交集只有一个——那就是在花粉中特异表达的小分子蛋白 SIPS。

论文共同第一作者、山东农业大学副教授曹芸透露:“这项工作初期最困难的环节是实验材料的收集,我们需要大量当天开放的花。我带领四个学生花了 2 个多月时间,才收集到足够的花。”

论文共同第一作者、山东农业大学副教授杨印庆发现,SIPS 在十字花科植物花粉中普遍存在,但在番茄等十字花科以外的物种中没有找到同源基因。敲除 SIPS 基因后,拟南芥突变体的花粉成功“骗过”了白菜柱头的防御系统,顺利完成受精。相反,在番茄花粉中异源表达 SIPS

后,原本被“无视”的番茄花粉在白菜柱头上竟然触发了强烈的防御反应。

段巧红兴奋地描述这一发现:“SRK 就像柱头的‘安检系统’,而 SIPS 就像是远缘花粉的‘通用标识’。”只要检测到 SIPS 信号,柱头就会立即“拉响警报”,通过升高活性氧来抑制花粉生长。

她强调,这一信号通路在十字花科植物中高度保守,不同物种的 SIPS 与 SRK 都能跨物种互作,解释了十字花科不同物种间维持生殖隔离的普遍规律。而在自交不亲和过程中,自花花粉因其携带的 SCR“专用标识”,而被 SRK 特异性识别,并被柱头精准抑制。只有种内异花花粉可以顺利通过柱头安检并完成受精,得到种内杂交后代。

论文审稿人一致认为,该研究的工作体量、深度及所评估物种的广泛性,都是非常令人信服的。这一发现揭示了自交不亲和与远缘杂交生殖隔离机制共享同一受体,但使用不同信号分子的分子机制,解开了白菜等十字花科植物生殖进化的一个关键谜团,将使该领域以全新视角重新审视这两种生殖隔离机制。

一套切实可行的远缘育种技术体系

他们没有让成果仅仅停留在理论上,而是进一步开发了一套切实可行的远缘杂交技术体系。

论文共同第一作者、博士生崔晓爽向《中国科学报》介绍了这项技术:首先,筛选自交不亲和和性弱的白菜材料作为母本;然后,使用反义寡核苷酸抑制 SRK 表达,或使用活性氧清除剂暂时弱化柱头防御系统。这套技术系统成功将白菜与欧洲山芥的杂交效率提高了 3~6 倍,为挽救救和染色体加倍等后续操作提供了充足材料。

段巧红强调:“我们在传统远缘杂交育种的基础上,选择‘安检系统’本就相对宽松的白菜材料作为母本,用活性氧清除剂暂时弱化柱头的防御系统。这一技术体系具有很强的可操作性 and 可推广性。”

邓秀新认为,该研究不仅为十字花科作物的远缘杂交育种提供了关键理论依据,还突破其他物种在种间、属间杂交中面临的生殖障碍提供了借鉴和思路,为作物野生种质资源的高效利用和新品种植育提供了新路径。

万建民指出,该成果总结了十字花科植物生殖隔离的普遍规律,并建立了高效远缘杂交育种技术体系。系列成果将大力推动远缘育种进展,是作物遗传育种领域的重大突破。

“我们的最终目标是让育种家能够更高效地进行远缘杂交,利用其他物种的优良基因改良栽培种抗逆特性。”段巧红说,这为中国科提出的“2025 十大前沿科学问题”之一——“如何利用作物野生近缘种提升栽培种抗逆特性”提供了切实可行的解决路径,也为保障粮食安全、农业可持续发展提供科技支撑。

相关论文信息:
<https://doi.org/10.1126/science.ady.2347>

中国科学院工业人工智能研究所成立

本报讯 11 月 26 日,中国科学院工业人工智能研究所成立大会在江苏省南京市举行。中国科学院院长、党组书记侯建国,江苏省委书、省人大常委会主任信长星出席会议并讲话。江苏省委副书记、省长刘小涛主持会议。中国科学院副院长、党组成员汪克强,江苏省和南京市领导周红波、储永宏、赵岩、李忠军出席会议。

侯建国对江苏省、南京市给予研究所建设发展的大力支持表示感谢。他指出,成立工业人工智能研究所是院省共同落实习近平总书记重要指示批示精神和党中央、国务院重大决策部署,加快抢占工业人工智能领域科技发展高点,助力江苏打造具有全球影响力的产业科技创新中心的重大战略举措。希望研究所对标习近平总书记对中国科学院提出的“四个率先”和“两加快一努力”重要指示要求,恪守国家战略科技力量主力军使命定位,把国家所需、江苏所能、中国科学院所长紧密结合起来,高起点谋划、高标准推进研究所建设发展,打造有效链接人工智能前沿科技与制造业实体经济的世界一流科研机构。通过各方共同努力,加快打造工业人工智能研究新高地、产业科技创新策源地、高水平创新人才集聚地、深化科研院所改革试验田,为加快抢占科技发展制高点,不断催生新质生产力,支撑江苏省经济社会高质量发展,助力科技强国和制造强国建设,作出应有的重大贡献。

信长星代表省委、省政府向研究所成立表示祝贺,向中国科学院长期以来对江苏发展的大力支持表示感谢。他指出,以习近平同志为核心的党中央全面加强顶层设计和战略谋划,引领推动我国人工智能综合实力

整体性、系统性跃升。党的二十届四中全会擘画了我国“十五五”发展的宏伟蓝图,明确提出“科技自立自强水平大幅提高”的战略目标,对促进制造业数智化转型、加强人工智能同产业发展相结合等作出战略部署。我们将深入学习贯彻全会精神 and 习近平总书记关于人工智能发展的重要指示精神,与中国科学院合力推动研究所建设起好步、开好局。希望研究所瞄准前沿领域加强技术攻关,持续深化体制机制改革,进一步密切与高校、企业之间的合作,更好推动人工智能与制造业深度融合,助力新质生产力发展。江苏将为研究所发展提供全方位服务保障,推动省院合作不断取得新成果,共同服务科技强国、制造强国建设。

成立大会期间,院省领导实地调研了工业人工智能研究所相关实验室、创新平台以及二期园区建设现场,详细了解了研究所科研进展、人才培养、条件建设等有关情况。工业人工智能研究所与相关合作企业签署了战略合作协议。

中国科学院副秘书长王华、文亚,中国科学院、江苏省、南京市相关部门和单位负责人,有关专家、工业人工智能研究所科研人员代表、相关合作单位代表参加会议。

中国科学院工业人工智能研究所是中国科学院与江苏省、南京市共建的面向智能制造的科研机构,聚焦国家战略和产业发展重大需求,承担工业人工智能从顶层设计到体系落地的全链条创新任务,构建“技术引领—平台整合—赋能闭环”的协同创新体系,推动人工智能赋能制造业高质量发展,着力打造智能制造领域国家战略科技力量。 (柯讯)

光华工程科技奖获 5500 万元社会捐赠

本报讯(记者赵宇彤)11 月 25 日,记者获悉,我国工程科技领域最高奖项之一光华工程科技奖获得 5500 万元社会捐赠,未来 10 年将继续奖励中国优秀工程科技专家。此次社会捐赠来自小米集团,中国工程院党组书记、院长李晓红和小米集团创始人、董事长兼首席执行官雷军共同见证了签约仪式。

光华工程科技奖是中国工程院设立的工程科技类奖项,在两年一次的两院院士大会上颁奖,用以表彰在工程科学技术及工程管理领域作出重要贡献、取得杰出成就的华人工程科技专家,也是中国社会力量设立的中

国工程界的最高奖项,迄今共评选并奖励 15 届 383 位优秀工程科技专家,累计颁发奖金 6970 万元。

李晓红表示,家国情怀铸就了光华工程科技奖亦诚厚重的底色。30 年来,光华工程科技奖始终紧扣时代脉搏、锚定国家战略,发挥对工程科技人才的激励作用。在社会各界大力支持下,光华工程科技奖将一如既往发挥人才发掘和激励作用,推动企业、高校、科研院所等创新主体深度协同,助力更多工程科技英才脱颖而出,为加快实现高水平科技自立自强、建成科技强国贡献力量。

中国“第一跨”正式通车



南京新生圩长江大桥正式通车。

中交二航局供图

本报讯(记者李思辉 通讯员赵振宇)11 月 26 日,随着第一辆汽车驶入桥面,南京新生圩长江大桥正式建成通车。该桥跨江主桥为主跨 1760 米的单跨吊钢箱梁悬索桥,是目前我国已建成的跨径最长的大桥,桥梁跨径国内第一、世界第三。南京新生圩长江大桥由南京市公共工程

建设中心建设,中交二航局参建。项目全长约 13.17 公里,主线设计时速 80 公里,双向六车道,按城市快速路标准建设,是连接南京市栖霞区、江北新区、经开区的重要纽带。大桥通车后,栖霞大道至江北大道的通行时间将由 1 小时缩短至 10 分钟。

440 万欧元！ 欧盟计划培养“光学涡旋”博士

学科培训应对上述挑战。参与者将系统掌握从元件设计、光与物质相互作用研究,到高功率放大技术及实际应用的全流程技能。

坦佩雷大学项目协调员 Regina Gumenyuk 表示,该项目将支持开发新产品和提升工艺效率,包括推动光学元件与纳米制造领域的创新。她还强调了项目在循环经济模式下的预期环境效益,即通过应用先进的 HiPOVor 技术,有望减少有害化学品的使用,缩小硬件尺寸,并降低能源需求。

坦佩雷大学教授 Goery Genty 补充说:“HiPOVor 不仅具有科研价值,还具备推动精密制造与高分辨率成像变革的潜力。”

HiPOVor 计划将于 2026 年 1 月启动,联盟成员包括在结构光和高功率激光技术领域领先的 8 家学术机构、9 家工业伙伴,以及全球功率最高的激光设施——极端光基础设施——核物理(ELI-NP)。

MSCA 是“地平线欧洲”计划的一部分,是欧盟博士生和博士后研究人员接受培训的主要资助项目。

新启动的项目致力于通过协同研究和跨

亚洲高山区变暖重塑北半球天气波动格局

本报讯(记者叶满山)兰州大学领衔的研究团队发现,亚洲高山区(包括青藏高原)是全球变暖的热点区域,其升温速率高于全球平均水平,由此重塑了北半球中高纬度地区的天气波动格局。近日,相关成果发表于《通讯－地球与环境》。

研究显示,在 1940 至 2022 年间,亚洲高山区异常剧烈的变暖,已对北半球不同地区的天天气尺度温度波动产生了明显影响。具体而言,加拿大和俄罗斯夏季的天气尺度温度波动增加了 21%以上,而东欧和北欧海域冬季的温度波动则减少了 19%以上。

这一影响主要通过改变大气环流来实现。变暖的亚洲高山区如同一个强大的“热力学”,通过增强感热和潜热释放,促使低层空气辐合上升、高层空气辐散,进而激发罗斯贝波。在夏季,这些波动能量沿着急流带向下游传播,在俄罗斯和加拿大上空形成高压异常。高压系统使空气下沉增温,同时减少云量,增强太阳辐射加热,增大了这些地区的水平温度梯度,导致天气尺度温度平流强度增加,最终造成天气波动加剧。而在冬季,这些波动通过环球路径传播,在北欧海域和东欧上空形成高压系统。高压不仅

削弱了背景水平温度梯度,还在东欧上空显著增加大气稳定性、抑制大气斜压性,减少天气尺度扰动的能量来源,如涡动动能减少,使得冬季天气波动减弱。

该研究综合运用观测数据与气候模型模拟,深入揭示了区域性变暖借助大气遥相关产生广泛天气气候影响的机制。这意味着在评估未来极端天气气候变化趋势时,亚洲高山区加速变暖这一关键因素不容忽视。

相关论文信息:
<https://doi.org/10.1038/s43247-025-02883-0>

迄今最大小鼠单神经元投射图谱数据集问世

本报讯(见习记者江庆龄)中国科学院脑科学与智能技术卓越创新中心研究员严军、工程师王晓飞、研究员徐春与复旦大学脑科学研究院研究员许晓鸿合作,发布了迄今最大的小鼠单神经元投射图谱数据集,揭示了精细的皮层内部联结和皮层下投射模式,以及皮层联结与转录组和功能数据的紧密联系。近日,相关研究成果发表于《神经元》。

在哺乳动物中,大脑皮层负责包括感觉运动转化和认知抉择等在内的高级功能。解析皮层神经元的全脑联结规律,对于揭示这些脑功能背后的神经机制至关重要。然而,皮层功能联结通过单个神经元实现的机制尚不清楚,且皮层神经元的结构联结与其他模式数据之间的关系也

缺乏系统研究。

为回答这些问题,研究团队重构了近 2 万个覆盖小鼠皮层所有脑区投射神经元的轴突完整形态,并整合其他模式数据进行了系统分析。研究团队通过全脑范围内神经元轴突形态的系统聚类,定量刻画了单神经元轴突形态的相似性,获得 346 个皮层神经元投射组亚型,并系统分析了这些神经元亚型的空间分布和全脑投射。

此外,研究团队将皮层划分为精细的 255 个皮层柱,揭示了 7 个皮层联结模块及其子模块,在单神经元水平发现了 12 个基本的轴突末梢分布模式,绘制了高精度的皮层等级分布图。

研究发现,皮层锥体束神经元到底节脑区

的投射存在多种组合模式。在初级感觉皮层,皮层-丘脑神经元和 PT 神经元都能投射到初级和高级丘脑核团。由此,揭示了单神经元水平皮层投射的复杂性,修正了传统的皮层神经元投射模型。

多模态数据整合分析结果显示,结构联结强的两个皮层脑区,钙信号也趋于同步,皮层内部结构联结的梯度及其功能联结的梯度整体上有着相似的空间分布。研究团队进一步发现了一系列与皮层等级相关的转录组类型和基因,且皮层等级与神经元发放频率存在负相关,提示高等级脑区的神经元更多地参与信息的整合。

相关论文信息:
<https://doi.org/10.1016/j.neuron.2025.10.019>