

发现·进展

中国科学院武汉植物园

连香树雄性个体
比雌性更早开花展叶连香树(左)、雄花(右上)和雌花。
中国科学院武汉植物园供图

本报讯(记者李思辉)中国科学院武汉植物园植被生态学团队以国家重点保护野生植物连香树为研究对象,揭示了雌雄异株植物春季物候对气候变暖的性别响应差异。相关成果近日发表于《新植物学家》。

春季开花、展叶等物候现象与植物的生长和繁殖密切相关,并且对环境变化十分敏感。对于雌雄异株的植物来说,雌花和雄花开花时间的匹配性对于成功授粉至关重要。然而,雌株和雄株开花物候对气候变化的响应是否一致,其二者的花期匹配性有何影响,目前仍不清楚。

研究团队以国家重点保护野生植物连香树为研究对象,通过开展控制实验探究了雌雄植株在不同条件下开花、展叶物候的时间格局,并分析其对温度和光周期变化的物候敏感性差异。结果显示,在大多数情况下,雌性个体比雄性个体更早开花和展叶,反映出雌雄异株植物春季物候的性别二态性。升温处理使雌雄个体的开花和展叶时间均显著提前,而光周期缩短对其无显著影响。有趣的是,雌性个体开花时间对温度的敏感性高于雄性个体,表明春季变暖可能缩短二者开花的时间间隔,进而促进该物种的繁殖适合度。

相关论文信息: <https://doi.org/10.1111/nph.71222>

小琥珀暗藏上亿年前昆虫“换装”秘密

■本报记者 杨晨

在四川农业大学教授顾俊杰的标本室里,层层堆叠的抽屉中整齐码放着各类昆虫标本。其中有二三十个巴掌大小、白框镶边的方形透明标本盒,里面各保存着一枚指甲盖大小的缅甸琥珀。

在珠宝商和收藏家眼里,琥珀因成色、干净程度不同,价格高低有别。顾俊杰的琥珀只有极少数较为干净,透出温润蜜色。在昆虫学家显微镜下,这些琥珀另有一套评价体系。

顾俊杰的这些琥珀里“躺”着身长一厘米左右的蜘蛛。有的六足完好、触角微卷,有的却缺了头、折了翅,只剩半截残躯。他就是靠着这批通往1亿年前的“时光胶囊”,揭开了这个蜘蛛分支家族隐藏的上亿年前的“换装”历史。

近日,顾俊杰团队在英国《皇家学会会刊B辑:生物科学》发表论文,首次明确蜘蛛科鳞片与原始刚毛的同源性,揭示了直翅目昆虫体表覆盖物从刚毛到鳞片的演化机制,为该类型形态创新与生态适应研究提供了理论支撑。

漂亮琥珀不一定“有用”

世界上有很多著名的琥珀化石产地,如缅甸、波罗的海、多米尼加。在国内,辽宁抚顺、福建漳浦也发现了重要的琥珀生物群。

这次研究中用到的琥珀,绝大多数来自缅甸。缅甸琥珀因保存好、年代久远、数量多、记录全,成为演化研究的“明星材料”。

缅甸琥珀大多形成于白垩纪中期,约1.09亿年前至9900万年前,比波罗的海琥珀和多米尼加琥珀古老得多。这意味着它更接近昆虫类群起源与早期演化的关键节点。

琥珀形成时,树脂包裹昆虫的瞬间隔绝了氧气和微生物,使虫体以近乎立体的形态完整保存下来,不像一些石化化石,最多留下大致的形态或翅膀的纹路。

不过,收集来的琥珀并非都有研究价值。研究人员不看琥珀的“颜值”,更在意“定格”的是否为目标研究物种、有无重要演化意义或者隐含了不同于已知类群的生物学现象。

“完不完整不重要,只要有我们想看的東西就行。”顾俊杰说,这次研究主要看琥珀中蜘蛛鳞片保存的类型与程度,如果鳞片完整且足够清晰,哪怕虫体缺了头、少了腿,也有一定的研究价值。

琥珀到手后,还需经过切割和打磨。“我们要让观察面是平的。”顾俊杰说,凹凸不平的表面会产生反光,影响研究人员对物种结构和特征的分析,甚至造成变形误差。顾俊杰标本盒里的琥珀都已经被砂纸磨得平整,而且盒上都贴有标签,附上了不同的编号,以便查找和存档。

从“寸头”到“烫直”

2017年起,顾俊杰开始收集缅甸琥珀,最初只是想对远古直翅目昆虫如蟋蟀、螞蚱作个“摸底”。过程中,他注意到了蟋蟀中的蜘蛛。

绝大多数直翅目昆虫只有细小的刚毛,像留了寸头。但蜘蛛是个异类,身上长着扁平的鳞片,像烫了“直发”。这在直翅目里绝无仅有。

顾俊杰收集的琥珀中,有的蜘蛛长着鳞片,有的却呈现粗且发达的刚毛。这让他好奇:“鳞片装”是怎么来的?和刚毛有什么关系?当下的研究多靠现生昆虫DNA反推,而他手里的缅甸琥珀,或许能给出最直接的答案。

于是,顾俊杰继续留心并搜罗同类化石。通过不断观察和比较,一个有趣的现象逐渐显现:有的蜘蛛身上是标准的细刚毛,有的个体刚毛变得粗壮、基部开始扁平,还有的出现了典型的宽大鳞片,紧贴身体。

不过顾俊杰强调,目前只能根据缅甸琥珀的年代,从大尺度推出蜘蛛“变装”的时间窗口。“不能得出一个连续且精确的时间序列。”

研究团队整合了琥珀化石、石化化石、现生蜘蛛的形态数据与分子数据,构建了一棵“家族树”,厘清了不同类群间的亲缘关系。在此基础上,他们进行了分化时间分析,推断各分支大致在什么时候“分道扬镳”,再结合鳞

片在不同分支上的分布特征,一步步还原鳞片的演化历程。此外,通过形态空间分析,团队进一步判断鳞片与刚毛是否为同源结构。

最终,研究证实,蜘蛛科的鳞片结构是由原始刚毛经过扁平化和结构修饰演化而来的。更重要的是,他们提出这个“换装”过程在白垩纪中期就已经基本完成。这意味着,蜘蛛并不是先分化出新物种,再慢慢长出鳞片,而是先完成了这一关键结构创新,然后才靠着这身新“装备”开启了后续的物种大辐射。

不过顾俊杰坦言,这些结论更多是建立在“合理推测”的基础上。在他看来,这项研究更大的意义在于方法论上的启示。

“研究演化通常有两种路径,一种是用现生材料,通过分子数据反推过去,另一种是直接依赖化石证据进行解析。”顾俊杰解释,这两者之间常常存在一个“鸿沟”,即分子数据推测的起源时间,往往比实际化石记录早很多。例如,有的研究推测某个类群在石炭纪就已出现,可化石证据只有二叠纪的。

此次蜘蛛研究,正是一个将化石证据与现生证据真正结合起来的案例,为后续相关研究提供了可参考的路径和证据。

兴趣所在

“以后如果收集到新的化石,发现新的生物学问题,这项研究还会继续。”顾俊杰说,琥珀化石研究多是自己兴趣的延伸,日常工作重心还是在现生昆虫的多样性、直翅目分类以及农业害虫防治研究上。

做昆虫分类学,意味着每年有1/3的时间都在野外工作。蜘蛛和蟋蟀晚上更活跃,一旦发出叫声就能被精准定位。“所以我们白天扫网,晚上夜采,几乎全天都在工作。”顾俊杰说。

不同类群的生活环境不同,研究人员会根据目标类群的生物学特性和分布特点,到对应的生境里寻找。蝗虫的生境最广,从低海拔到4000米的高山都有。蚤螳个头小,物种多样性不丰富,主要生活在靠近水的地方。而



顾俊杰收集的缅甸琥珀。杨晨/摄

螽斯,有的爱躲在灌丛,有的善依树而栖。

顾俊杰刚完成了一轮对四川直翅目的系统统计,总共430多种。过去几年,仅四川境内就发表了15个新种,“说明可挖掘的还有很多”。在顾俊杰看来,昆虫是这个地球上最成功的动物,其物种多样性极为丰富,但它们体形小,适应环境的方式多样,还有不少族群藏身于山林草灌之中未被发现。

除了新物种,还有很多有趣的生物学现象值得探究。蟋蟀的叫声、蜘蛛的鳞片、蝗虫的暴发,都藏着许多未解之谜。

顾俊杰还特别提到了昆虫的声通信。很多人以为蟋蟀、螽斯的叫声都差不多,其实不然。大众听到的蟋蟀叫声多由雄性发出,作用不仅有求偶,还有警戒和争斗,而这些叫声的具体含义,只有同种个体之间才能听懂。“这是我们做分类学的一个重要方向,也是研究物种形成与行为演化的重要内容。”

当记者问到,全国范围内活跃在直翅目分类领域的研究者有多少时,顾俊杰默数了一下活跃的学者:“15到20个左右。”

领域虽然“小众”,但不乏执着的人。顾俊杰的想法很简单:“发现了问题,就顺着深入下去。”这是他一直以来做科研的方式。

相关论文信息:

<https://doi.org/10.1098/rspb.2025.3077>

中国科学院力学研究所

“太极计划”再获突破

本报讯(记者倪思洁)近日,记者从中国科学院力学研究所(以下简称力学所)获悉,继2019年“太极一号”干涉仪成功在轨验证后,力学所引力波实验中心团队针对“太极计划”对超高精度激光干涉测量的需求,首次设计并实现了适用于“太极计划”的全功能光粘干涉仪光学平台,并完成系统的地面性能测试和噪声评估,为“太极计划”引力波探测的干涉仪工程化铺平了道路,是“太极计划”干涉仪系统由原理样机向工程样机转换的重要里程碑。相关成果发表于美国科学促进会与中国科协合作的国际期刊《研究》。

“太极计划”是由中国科学院提出的空间引力波探测方案。该计划利用三颗卫星组成臂长300万公里的激光干涉仪,探测频率范围为0.1毫赫兹到1赫兹频段的引力波信号。这要求干涉仪具备皮米级的测距精度,对环境控制、仪器性能和噪声分析提出了前所未有的挑战。

为满足百万公里级臂长和皮米级测量精度的实际需求,研究团队明确了干涉仪模型需要具备的各项功能及对应的指标要求,并据此设计了一套全功能干涉仪光学平台。平台创造性采用“正反分离”的三维布局,有效隔离了热源对光路的影响,显著提升了系统在空间环境中的热稳定性。同时,该设计兼容与望远镜、惯性传感器的垂直光束连接,功能完整性高。

依托力学所北京怀柔园区的皮米精度激光干涉平台,研究团队对该干涉仪光学平台进行了全面的稳定性测试和噪声评估。针对噪声源,团队发展了一套数据后处理抑制方法。应用该方法后,目标频段的系统稳定性提高了一个数量级,性能已满足“太极计划”空间引力波探测任务对干涉仪系统的指标要求。

相关论文信息: <https://doi.org/10.34133/research.1252>

天津大学

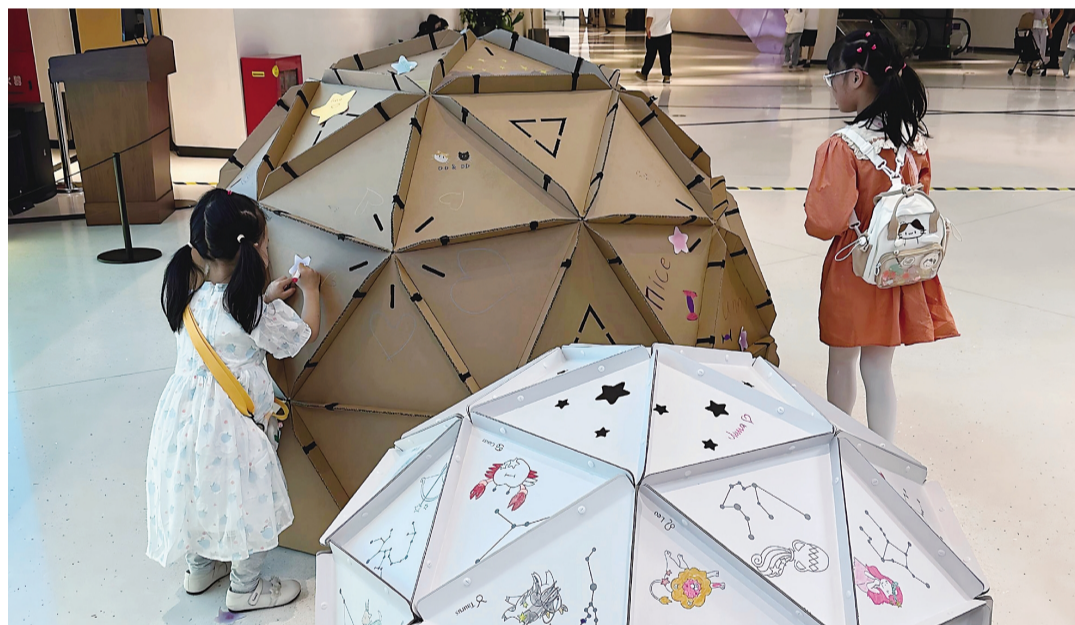
新型高温储热材料
25秒升温至550℃

本报讯(记者陈彬 通讯员梁绍楠)天津大学教授封伟团队研制出一种新型高温复合相变材料。该材料具有高热密度和优异的循环稳定性,为太阳能光热发电及工业余热回收等高温应用提供了新的解决方案。相关成果近日发表于《先进功能材料》。

研究团队提出界面调控策略,在氧化石墨烯与三元共晶盐体系中引入聚乙二醇(PEG)作为界面调控剂,通过其桥接作用改善两相之间的相容性,并在80℃条件下搅拌形成均一凝胶体系,随后经液氮定向冷冻、冷冻干燥及高温退火处理,构建出稳定的石墨烯凝胶-熔盐复合结构。退火过程中PEG被去除,熔盐被有效限制于石墨烯多孔骨架内部。性能测试结果表明,该复合材料的初始熔化焓达到531.1焦耳/克,在经历50次高温热循环后,仍可保持约93%的储热能力。在聚光光照条件下,材料可在25秒内升温至550℃,全光谱平均吸收率达92.7%。在特定测试条件下光热转换效率最高可达91.6%。

团队负责人表示,该材料有望应用于聚光太阳能光热发电系统,实现白天储热、夜间释能,从而缓解太阳能的间歇性问题。

相关论文信息: <https://doi.org/10.1002/adfm.75374>



研发难度“大于设计芯片”——

农业机器人“突围”还需“软硬兼施”

■本报记者 陈彬

随着启动键按下,一根灰白相间的机械臂缓缓升起、旋转,随后位于机械臂末端的橡胶“花朵”式装置套住一颗被细线吊起的草莓,草莓被完整摘下。

这是一台专门用来采摘草莓的单臂式机器人,它旁边还有可以高效率摘苹果与猕猴桃的四臂机器人、高速采收芦笋的机器人、一母舱无人机的空地协作机器人……它们被统称为农业机器人,整齐摆放在江苏大学校园内。它们身后的一座小礼堂内,由中国农业机械学会、中国农业机械工业协会、中国农业工程学会等与江苏大学共同主办的“沃得农机·2026 未来国际会议”正在召开。

在近日这场以“农业装备智慧提质”为主题的会议上,农业机器人的现状与未来是与会专家讨论的一个重要话题。

超400亿美元的市场规模

农业机器人指面向农业场景可精确感知、自主决策、智能控制、自主执行的机器人。这个定义是中国工程院院士、国家农业信息化工程研究中心主任赵春江在大会演讲中给出的。同时,赵春江还提供了一组数字:“农业机器人的发展与中国农业的行业背景紧密关联。”他表示,随着人工成本的快速增长,目前国内一般性的农事活动人工成本已占到总成本的50%以上;如果是用工较多的复杂农事活动,人工成本所占比例能达到70%。

“这意味着,能够在很大程度上取代人力的农业机器人是我们重点关注的未来领域。”赵春江说。

在我国,早在“十一五”期间,国家便以支持果树采摘为起点,开始布局农业机器人的研发和推广;“十二五”期间开始探索机器人田间除草作业的研发;“十三五”和“十四五”期间,智能农机装备乃至无人化智能农业装备的研发迎来了快速发展期。

“截至2024年,我国每年农业机器人的产能和产量已分别达到6.6万台、5.6万台。”中国机械工业集团有限公司科技发展部副部长吴海华说。

如此大的产能背后,是同样庞大的产业规模和前景。

根据吴海华提供的数字,预计到2031年,国内农业机器人的行业投资规模将达96.82亿元,产量将达115.95万台,需求量将达114.95万台。

如果将视角放到全球范围内,农业机器人的产业前景同样广阔。

据印度市场研究与商业咨询公司360iResearch 估计,2025年,全球农业机器人的产业规模为165亿美元,2026年为186.5亿美元,至2032年这一数字将达402.1亿美元。而根据赵春江给出的数字,预计到2031年,全球农业机器人的市场规模将达404.4亿美元。

会议期间,江苏大学农业机器人团队的一项名为“一种水平棚架果实的仿形收获机器人系统及其作业方法”的成果,便以1050万元的价格许可河南某企业实施。该成果能将葡萄的采收效率从过去每小时约200串大幅提升至每小时1690串。

“可以说,农业机器人是农业装备升级之路,农业机械化、智能化的重要支撑和未来农

业的核心要素,更是我国参与国际竞争并引领的重要方向。”吴海华说。

只是在机遇到来的同时,农业机器人的发展面临重重挑战。

难度“大于芯片研发”

“能用、可用,但不好用、不易用、不适用。”吴海华这样总结目前农业机器人在国内的应用概况。

“究其原因,一方面是我们的底层技术、根技术的原创性研发不足,产业链尚不完善;另一方面,与农业本身的特点,不可控因素极多。”他说。

对此,国家数字农业装备(人工智能和农业机器人)创新分中心首席专家、中国农业工程学会人工智能和农业机器人专业委员会主任刘继展表示,农业场景多种多样,有大田农业,也有温室农业以及经济作物种植,更有养殖业、加工业、运输业等其他门类,而这些场景完全处于自然状态,不可控因素极多。

“这对农业机器人的作业性能提出了极高要求。”刘继展解释说,在确保高劳动效率的基础上,机器人要具有泛化视觉,毕竟果树上的每个果子形态不同,成熟程度也不同,甚至还有套不套袋之分,因此机器视觉要有广泛的适应能力。同时,农作物相对易损,也对解决农业机器人工作效率与损伤率之间的矛盾提出了更高的要求。此外,农田环境多样,条件随机,工况复杂,机器人还要拥有自主脱困的能力。

“农业机器人还要有易操控的特点,最好如傻瓜相机一般操作简单。”刘继展说。

来上海天文馆,领科普“大礼包”

近日,在国际天文馆日到来之际,上海天文馆(上海科技馆分馆)推出全新沉浸式品牌活动球幕互动天文秀,通过四大球幕主题活动,形成了一条从早到晚、动静结合、覆盖全龄段的球幕科普体验链。

其中,球幕互动天文秀“解锁宇宙的钥匙”是上海天文馆将全球球幕影像、实景剧情演绎、真人引导与观众实时互动深度结合的创新尝试。

在主题工坊“搭建一座天文馆”环节,孩子们亲手用环保材料搭建一座中国古代天文馆模型,并把自己的愿望贴在穹顶。搭建完成后,孩子们还能钻到里面,在星空投影灯的转动下,体验古人的

智慧。

巡游气象厅内则安排了《天文馆的诞生》影片轮播,为观众讲述了世界第一座现代天文馆从构想到落成的百年传奇,还开放了特色互动课程“触摸星空”,让观众通过星空模拟近距离感受四季的星空与星座。

除球幕系列活动外,上海天文馆还推出了“SAM Walk(灵感之旅)”主题导览,带领观众深入解读天文馆建筑本身暗藏的天体运行奥秘。

图为孩子们搭建的中国古代天文馆模型。

本报见习记者江庆龄报道
上海科技馆供图

这些特点意味着农业机器人的技术难度可能远超很多人的预料。演讲中,赵春江引用了美国 Harvest CROO 机器人公司创始人鲍勃·皮策的一句话:“在我看来,芯片设计比开发草莓采摘机器人容易得多。”

缺失的行业标准

值得一提的是,我国农机装备近年来已取得较大进展,打结器、无级变速器等关键零部件以及混合动力拖拉机等产品取得突破,但高端农机“卡脖子”困局依然存在。对此,中国农业大学中国农业机械化发展研究中心主任杨敏曾直言,我国农机装备基础理论和关键共性技术研究尚处于工业化发展初期。

发言中,吴海华也表示,目前国内农业机器人领域在感知认知、学习决策、人机交互、自适应行走、多机自主、集成管控等多项技术方面尚须突破,这导致农业机器人往往存在识别不准、控制不精、管控不灵、作业不快的情况。“这些都是我们未来需要重点补齐的核心技术短板。”他说。

除硬件技术外,未来农业机器人的研发还需解决一些“软性问题”。

据他介绍,目前我国还没有专门的农业机器人标准体系,专门针对农业领域的国家标准仅有3项,地方标准两项,行业标准更是1项都没有,即便是团体标准也只有30余项。这与我国农业机器人快速发展的需求完全不匹配,严重阻碍了农业机器人行业高质量发展。

“农业机器人标准体系应坚持系统化布局思路,不仅关注整机和作业功能,还要同步覆盖基础通用、共性技术、关键零部件与整机、场景应用、测试验证、安全伦理等关键环节,逐步形成支撑技术创新、产品评价和产业推广的全链条标准体系。”梅鹤波说,在这方面,还有很多工作要做。