

发现·进展

中国科学院南京土壤研究所等
揭示水稻钾营养运输新机制

本报讯(记者沈春蕾)中国科学院南京土壤研究所研究员沈仁芳团队联合国内外多个研究团队，通过对水稻钾离子通道蛋白 OsKAT1 的深入解析，揭示了一种禾本科作物特有的高效双通道协同机制，更新了人们对植物营养运输的认知。近日，相关研究成果发表于美国《国家科学院院刊》。

钾是植物生长与高产的关键营养元素，其从根到叶的高效运输对作物至关重要。经典理论认为，植物根的中柱细胞主要依靠钾离子外排通道 SKOR 驱动钾离子进入木质部，实现长距离运输。

沈仁芳团队研究发现，OsKAT1 结构独特，其蛋白质 C 末端天然截短，相较于典型钾通道更短。这类“短型”通道在稻、麦、玉米等禾本科作物中保守存在，而在双子叶植物中未见类似结构，因此这是禾本科作物为适应高效营养吸收而保留的关键分子特征。

研究还证实，在水稻根的中柱组织中，OsKAT1 与传统的钾离子外排通道 SKOR 共处于同一细胞，两者形成功能上的协同，并通过膜电位的动态调节实现精密配合，使钾离子得以在低能耗状态下持续向地上部分运输，其效率远高于仅依赖单一通道的系统。

田间试验显示，OsKAT1 缺失导致水稻减产约 40%，而过表达则显著提升千穗数、生物量与产量。其作用关键在于保障钾向光合组织的稳定供应，维持叶片高效光合作用。

OsKAT1 的研究揭示了禾本科作物特有的一套旨在实现营养效率最大化的生理适应机制。该研究将植物钾营养研究从“单一元件”视角推向“系统协作”的新层次，也为未来通过遗传改良同步提升作物钾利用效率与产量潜力，提供了全新的分子靶点与理论基础。

相关论文信息：<https://doi.org/10.1073/pnas.2527650123>

中国林业科学研究院
“金丝楸”获独立新物种地位

本报讯(记者李晨)近日，中国林业科学研究院研究员王军辉团队综合运用形态学、生态学与系统发育基因组学方法，正式命名并描述了梓属植物中的一个新物种——金丝楸。该研究为这个在中华文献中被记载、讨论了 2000 余年，却长期被科学界忽略的珍稀树种“正名”，确立了其独立的分类学地位。相关研究成果发表于《植物钥匙》。

梓属植物是著名的第三纪孑遗植物，在亚洲与美洲间断分布。其中，生长于我国的树种(除梓外)常被统称为“楸树”。研究人员曾屡次指出，金丝楸在形态、物候和材质上与常见楸树不同。然而，在现代植物分类学体系中，金丝楸长期被视为楸树的品种或变型，其独立的物种身份一直未被正式承认。尤其在最近的分类研究中，有学者将中国的几种楸树合并为一个物种，更使其分类地位模糊。

团队在对楸树进行种质资源收集和杂交育种时发现，被称为“金丝楸”的类群与楸、灰楸、滇楸等在关键生物学特性上存在显著差异，如物候、花粉活力、结实率等，尤其是决定木材经济价值的心材颜色。这种分类上的混乱，影响了杂交育种中亲本的精准选配，导致后代性状不可控，制约了育种效率与产业发展。为此，团队开启了全国性楸树野生资源调查与系统性研究。

通过全国范围的调查，团队厘清了金丝楸独特的形态特征。虽然它具有梓属植物常见的卵形叶、二强雄蕊等共性，但拥有一系列稳定的鉴别性状——狭窄卵形的树冠、亮黄色的花药与黄色心材、花丝具紫色斑点、花冠筒内具显著的深紫色条纹以及较大的花瓣斑点等。

更重要的是，团队基于核基因组 SNP 和叶绿体全基因组数据进行系统发育分析，提供了关键分子证据。分析结果显示，金丝楸的所有样本形成一个独立的单系分支，与楸、灰楸、滇楸等近缘种明确分开，从遗传上证实了它是一个独立的演化谱系。

研究明确了金丝楸的野生种群分布于陕西、河南、山东、安徽、江苏等省份，在东部沿海山区保存有较丰富的种群。其分布海拔为 0-800 米，与楸、灰楸虽有重叠，但花期明显早约 8 天，存在生殖隔离迹象。尤为独特的是，它是目前已知唯一能适应东部沿海花岗岩碎石恶劣生境的梓属物种，表现出特殊的石生适应性。

相关论文信息：
<https://doi.org/10.3897/phytokeys.270.171460>

香港中文大学等
昼夜节律影响肺癌治疗结果

本报讯(记者冯丽妃)香港中文大学教授莫树锦与中南大学教授张永昌等合作，研究发现接受免疫化疗的晚期肺癌患者如果在下午 3 点前接受治疗，疾病进展的延缓程度优于晚些时候治疗的患者。这些发现来自一项随机三期试验，涉及 210 名参与者，表明将治疗安排在白天较早时段，可能是一种可以强化治疗效果、简单且不增加成本的方式。2 月 3 日，相关研究发表于《自然－医学》。

昼夜节律(即生物钟)会影响免疫细胞行为及对治疗的反应。此前针对肾癌、恶性黑色素瘤等多种癌症的回顾性研究表明，在一天较早时段使用免疫检查点抑制剂可能更有效。但缺乏前瞻性随机对照试验对这些初步发现进行验证。

研究人员在这项三期随机试验中，纳入了 210 名未接受任何治疗的晚期非小细胞癌患者。在初始 4 个治疗周期中，患者被分配到下午 3 点之前(早间组)或之后(晚间组)接受免疫化疗。中位随访 28.7 个月后，早间组癌症未恶化期(即无进展生存期)约为 11.3 个月，晚间组为 5.7 个月。早间组中位总生存期为 28 个月，晚间组为 16.8 个月。早间组治疗响应率为 69.5%，晚间组为 56.2%，两组免疫相关不良事件无显著差异。进一步分析后，研究人员还发现早间组血液循环的 CD8⁺T 细胞(一种免疫细胞)更多，活化 CD8⁺T 细胞相对耗竭 CD8⁺T 细胞比例也更高，这或许能解释该组的疗效为何较好。

研究人员表示，还需要进一步研究确定长期生存结局，未来将研究昼夜节律与患者疗效关联的机制通路。

相关论文信息：
<https://doi.org/10.1038/s41591-025-04181-w>

继续领跑全球！新型“中国牌”晶体诞生

■本报记者 倪思洁

全固态真空紫外光源是一种具有重要战略意义的光学仪器设备，其核心材料为非线性光学晶体。

全球该领域的里程碑式晶体，是我国科学家于上世纪 90 年代发明的“中国牌”晶体——氟代硼酸钾晶体(KBBF)。它是过去 30 多年里，唯一能通过直接倍频技术实现 200 纳米以下真空紫外激光输出的实用晶体。

如今，中国科学院新疆理化技术研究所(以下简称新疆理化所)团队成功研制出一种新型“中国牌”晶体——氟化硼酸铵晶体(ABF)。该晶体不仅拥有完整的自主知识产权链条，材料性能更刷新多项纪录，使我国在该领域持续领跑全球。相关成果 1 月 29 日发表于《自然》。

刷新 3 项世界纪录

2009 年 2 月,《自然》刊发一篇题为《中国晶体——藏匿的珍宝》的采访调研文章。文中,作者断言“其他国家在晶体生长方面的研究,还无法缩小与中国的差距”。

文章的主角正是“中国牌”晶体 KBBF。1995 年,陈创天院士等中国科学家研制出 KBBF,“中国牌”晶体自此步入高光时刻。2007 年,中国正式宣布停止对外提供 KBBF,国外不惜重金请求购买,或邀请相关中国专家赴外工作,均被严词拒绝。

从 1995 年至今的 30 多年里,在非线性光学晶体领域,全球尚无任何新的晶体材料体系可以在性能上超越 KBBF。

随着激光技术的飞速发展,该领域亟待研发新一代真空紫外非线性光学晶体。“从 2007 年我回国工作起,就开始着手寻找兼具更短输出波长、更大输出能量、更高转换效率的新材料体系。”新疆理化所研究员潘世烈说。

潘世烈曾师从陈创天、吴以成两位院士,在导师的指导下,系统掌握了晶体材料研究的理论体系与技术方法。2007 年,他正式加入新疆理化所,开始组建一支覆盖理论计算、材料合成、晶体生长、器件加工、激光输出等全链条的创新团队,并寻找性能更优越的真空紫外非线性光学晶体材料体系。

他们创新性地将元素周期表中电负性最大的氟元素引入硼酸盐体系,让氟与硼以共价键相连,构筑起氟化硼酸盐基团,成功设计合成出 ABF 晶体。

最终,ABF 晶体刷新了直接倍频真空紫外激光输出领域的 3 项世界纪录——波长最短、纳秒脉冲能量最大、转换效率最高。

“ABF 晶体直接倍频输出激光的波长达到 158.9 纳米,纳秒级 177.3 纳米激光直接倍频输出能量达 4.8 毫焦,转换效率最高可达 7.9%,均为世界最高水平。”潘世烈说。

可用于高端装备、精密微加工等领域

性能参数的提升,为一系列尖端应用领域带来了新机遇。“基于其短波长、光子能量大、转换效率高的特性,ABF 晶体直接倍频输出的激光是国际上独一无二的,未来将在多个战略方向发挥关键作用。”潘世烈说。

在基础科学前沿,它将助力科学家探索物质微观奥秘。“激光的波长越短、能量越大,仪器的分辨率就越高。比如,在超导机理研究方面,别人看不清的,我们能看清,这有助于我们从源头上实现技术突破。”潘世烈说。

ABF 晶体也让中国有了定义新一代科研装备标准和方向的可能。“作为关键部件,它还有望研制出国际上尚无先例的尖端科研仪器,如为自由电子激光提供独有的种子源,赋能下一代高端科研装备。”潘世烈说。

在高端制造领域,ABF 晶体产生的真空紫外激光可应用于超高精密微加工等领域,显著提升加工精度与效率,服务于制造强国战略。

“短波长、高光子能量激光,可用于纳米级精度的切割、钻孔与表面处理,在航空航天、医疗器械等高端制造领域,实现更高效、更精密的加工。”潘世烈说。

此外,潘世烈介绍,ABF 晶体还有望为空间激光通信等新兴领域与“无人区”领域提供新的技术路径。“未来,ABF 晶体和器件的应用潜力巨大。我们的目标是创造需求、引领需求。”

十年磨一晶

目前,ABF 晶体已突破厘米级晶体生长技术和器件加工技术瓶颈,构建起完备的自主知识产权体系。

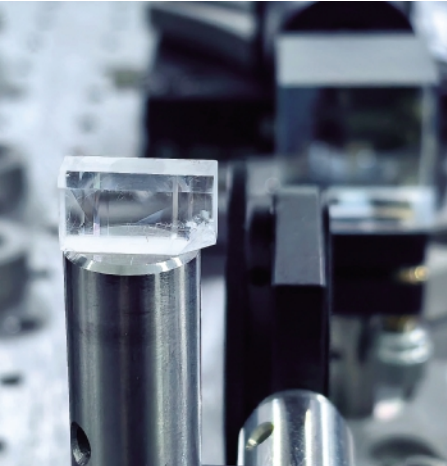
“这项成果是团队站在老一辈科学家肩膀上接续奋斗的结晶。”潘世烈说。

在过去近 20 年里,科研团队将新型真空紫外非线性光学晶体从理论构想变为现实。潘世烈感慨:“研制过程是非常艰辛的。”

在材料理论层面,团队创新性提出真空紫外非线性光学晶体氟化设计及性能调控机制,攻克了“大带隙-大倍频效应-高双折射率-短紫外截止边”协同调控难题,创制出以 ABF 为代表的系列高性能晶体。

以此为基础,科研人员进一步聚焦晶体生长技术难题。为了长出足够大的 ABF 晶体,他们全年无休,年复一年地守着自研的晶体生长装备,夜以继日调节优化生长参数,用 3 年时间将晶体尺寸从毫米级提升至厘米级,最大可达 4 厘米。

光有晶体还不够。玉不琢不成器,晶体



ABF 真空紫外倍频器件。 新疆理化所供图

亦然。“晶体像人一样,一人一个脾气,每种晶体都有自己的秉性,得找到适配的加工工艺。”团队成员、新疆理化所研究员张方说。他们反复试验切割角度、力度,摸索研磨、抛光工艺,历经无数次失败后,终于掌握了全套加工工艺。

“当第一束 158.9 纳米激光从自主加工的器件中射出时,实验室爆发出欢呼声。”潘世烈笑着说。

如今,这支拥有 100 多位成员的团队仍在持续攻关。潘世烈介绍,下一步,新疆理化所将继续开展 ABF 晶体稳定生长技术、器件加工工艺及激光光源应用的研究,力争实现更短波长、更大能量、更高效率的全固态真空紫外光源创新,为精密制造、前沿科研装备领域提供有力支撑。

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41586-025-10007-z>



广东高速
“上岗”一批智慧助手

本报讯(记者朱汉斌)养护不下车、预警超视距……记者从广东交通集团获悉,广东多条高速近日“上岗”一批智慧助手。从阳化高速的“清道夫”到揭惠高速的“移动守护盾”,这些智能装备为春运出行织密安全防护网。

新型智能清障车采用铲扫一体式结构设计,可在每小时 60 公里的正常行驶速度下连续作业,实现“边开边扫,即行即清”。为降低占道施工风险,阳化高速部署安装了“米波雷达”的智能“预警机”,该设备依托毫米波雷达与人工智能算法,可对作业区 800 米范围内的车辆进行实时监测。

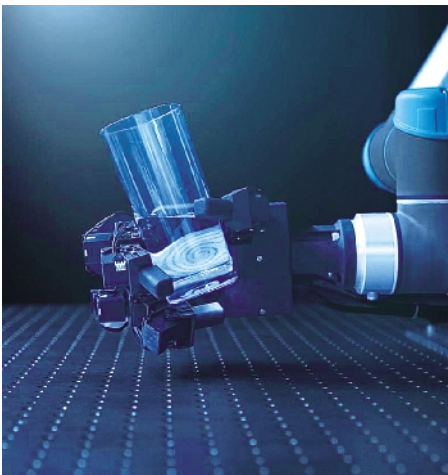
穿上 1 毫米厚的“超级光电皮肤”,拥有 10 种感知能力

■本报记者 刁雯蕙

人类的皮肤能够通过触觉分辨物体的形状、大小、质地、温度、湿度等属性。随着机器人逐渐向智能化发展,未来机器人能否像人类一样“感受”外界呢?

清华大学深圳国际研究生院副教授丁文伯团队联合产业界及多所国内外科研机构,开发出名为 SuperTac 的多模态高分辨率触觉传感器,并将其集成在仅 1 毫米厚的薄膜上,如同为机器人穿上“超级光电皮肤”,赋予机器人同时感知力度、位置、温度、材质、纹理、颜色、振动、滑动、碰撞、接近感应等 10 种感知能力,识别准确率达 94%以上。近日,相关研究成果发表于《自然－传感器》。

这项技术不仅突破了以往触觉传感器



安装 SuperTac 的灵巧手。 受访者供图

功能单一且与精度难以兼得的困境,其搭载的触觉语言模型 DOVE 更能让机器人“听懂”并“说出”触觉感受,为人机交互打开了全新的大门。

受鸽子视觉系统启发

机器人触觉感知技术长期面临“想要功能多,精度就差;想要精度高,功能就少”的两难局面。该技术主要基于电子皮肤和视觉传感器两种方式,电子皮肤功能多但分辨率低,视觉触觉传感器分辨率高但功能单一。这就像“盲人摸象”,有的只能感知温度,有的只能感知压力,如果将几种传感器拼接在一起,虽勉强还原物体全貌,但器件笨重且感知不准确。

“我们尝试从光学角度来解决这个难题,当时鸽子这种非常聪明的生物进入了我们的研究视野。”丁文伯介绍,与人类眼睛的 3 种感光细胞不同,鸽子的眼睛拥有 4 种感光细胞,能看见包括紫外线在内的广阔光谱,其视网膜内还含有能感知地球磁场的特殊蛋白,这赋予了它们独特的磁导航能力。

受鸽子视觉系统启发,研究人员开发出一种多模态高分辨率的触觉传感器 Super-Tac。他们利用鸽子眼睛的多光谱感知原理,设计了一套能够同时捕捉紫外线、可见光、近红外光和中红外光 4 个波段的成像系统。其中,可识别的不同光线波段分工不同:可见光用来识别颜色和纹理,红外光用来感知温度,紫外光则用来追踪皮肤上的荧光标记点从而计算受力情况。这套成像系统就像给机器人配了一台“全彩夜视仪”,不仅能捕捉

物体表面信息,还能获取颜色、温度分布、内部形变等多维信息。

为实现这些多维信息的同步采集,研究人员在传感器表面制备了仅为 1 毫米厚的薄膜。这层薄膜集成了 4 层结构:最外层是导电层,通过摩擦起电识别材质;第二层是可以控制不同光线进出的光学单向膜;第三层是嵌有荧光标记点的透明硅胶,用于捕捉细微形变;最底层则是可充气硅胶层,能像气垫一样通过调节气压来改变软硬度。

“这 4 层结构配合起来,就像给机器人穿上了‘超级光电皮肤’,实现力度、温度、材质、形变等多种信息的同步采集。”丁文伯介绍。

有触觉、懂触觉

“这是一个黄色的陶瓷杯,表面光滑,温度略高于室温。”实验室里,集成了 SuperTac 的灵巧手触摸杯子后,能准确说出杯子的颜色、材质、温度等信息。

除了“超级光电皮肤”,研究人员还开发了拥有 85 亿参数的触觉语言大模型 DOVE。它如同机器人的“触觉翻译官”,当传感器收集到图像和数字信号后,DOVE 能够将这些信号翻译成人类能懂的语言。

“比如,我们向机器人发出指令‘帮我找一个软的、温暖的东西’,它就知道要去触摸不同物体,并根据柔软度和温度来判断。如果我们能对机器人说‘小心,这个很脆’,机器人就会自动调整抓取力度。”丁文伯介绍说,DOVE 让机器人不仅“有触觉”,还“懂触觉”,真正实现了人机之间的自然交流。

实验结果显示,该技术在多指灵巧手上的感知和识别任务上表现出色。例如,在“盲抓”任务中,机器人在完全无视觉引导的情况下,仅凭触觉就能从一堆混杂物品中准确找出指定目标,成功率高达 92%。在对金属、塑料、木材、织物等 50 种不同材质的触摸分类任务中,综合识别准确率达到 94%。

此外,集成 SuperTac 的灵巧手还能快速检测物体表面的温度分布异常,例如定位电路板上的过热元件,展现出在工业质检、食品安全等领域的应用潜力。

丁文伯介绍,这些触觉感知能力的展现,让 SuperTac 在具身智能和人形机器人领域有广阔的应用前景。针对当前机器人缺乏精细的触觉感知能力的问题,该技术有望让机器人不仅“能看”,还能“真正感受”。同时,该技术在智能制造、农业自动化等领域也有广阔应用空间,如在极端环境下进行设备维修、在黑暗中进行搜救作业,SuperTac 的多模态感知能力都能发挥独特作用。

“当然,我们清楚地知道,一项技术从实验室走向实际应用还面临多重挑战。”丁文伯指出,首先是成本问题,目前多光谱成像系统与精密加工的制造成本较高,需要通过优化工艺和材料,达到工业界可接受的水平;其次是耐用性验证,实验室与真实工业环境差别较大,该技术在高温、低温、粉尘等恶劣条件下的应用有待测试;最后,不同应用场景需要针对性地优化算法模型。未来,研究团队将在这些方面进行探索和改进。

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s44460-025-00006-y>