

# 新结构让药物递送“瞄得准、打得狠”

■本报记者 张双虎

自 mRNA 新冠疫苗获批上市并大规模应用后,以脂质纳米颗粒(LNP)为载体将核酸药物送入病灶的靶向技术逐渐走入公众视野。该技术已从新型传染病防治拓展至肿瘤靶向治疗,以及自身免疫性疾病、罕见遗传病、糖尿病、心血管疾病等慢性疾病的防治。然而,目前该技术面临两大瓶颈:一是体内精准靶向困难;二是转染,即将外源 DNA、RNA 等核酸分子导入真核细胞的过程效率偏低。同时,相关技术专利多集中在国外研发机构和跨国药企。这成为我国医药自主和高质量发展的关键问题之一。

为此,国家纳米科学中心研究员林耀新团队与合作者构建了一种基于脂质空间构象的人工智能(AI)模型,通过精准解析可电离脂质三维空间构象,优选出具有体内精准靶向和高效转染能力的新型 LNP,为核酸药物递送和高质量发展开辟了新路。相关论文近日发表于《自然-生物医学工程》。

## “瞄不准、打不狠”是痛点

“我们所做的工作是实现核酸类药物的精准靶向递送。”国家纳米科学中心研究员林耀新告诉《中国科学报》,“LNP 在核酸药物递送中扮演载体角色,就像精确制导导弹,它不但要将核酸类药物精准递送到病灶,还要把携带的药物卸载下来。”

如果把病灶比作敌人,那么药物靶向递送就像对敌开炮,瞄得准、打得狠才能战胜病魔。在靶向递送过程中,

药物被包裹在 LNP 中。LNP 进入靶细胞后其携带的药物被释放至细胞质,进而生物合成成为蛋白发挥作用。

这一过程中,两个关键步骤——细胞内容物和溶酶体逃逸影响蛋白最终产量。在以往的 LNP 递送技术方案中,溶酶体逃逸效率非常低。公开报道的数据显示,目前绝大多数 LNP 溶酶体逃逸率低于 2%。“也就是说,如果携带 100 克药物进入细胞,最终能发挥作用的不到两克。”苏林嘉说。

## 新结构提高递送效率

作为一种颇具市场潜力的药物递送方式,LNP 受到全球科学家的密切关注,该领域也不断涌现新成果。研究团队在持续追踪国际研究前沿,探索如何构建更高效递送系统过程中意识到,底层技术突破首先需要厘清关键科学问题,究竟是哪种因素在发挥重要作用,其中又存在怎样的构效关系。

经过反复测试与系统总结,团队发现传统 LNP 设计多聚焦于可电离脂质的二维化学结构,忽略了其在生理环境中动态变化的三维空间构象信息。这限制了对脂质功能的深层理解,也削弱了对体内靶向能力的精准预测。药物分子进入人体后,其结构是动态变化的,这给三维构象或信息捕捉带来了巨大困难。

“我们首次将可电离脂质的空间构象引入 AI 模型,并构建了一个可电离脂质分子文库。”苏林嘉告诉《中国科学

报》,“利用分子动力学模拟加 AI 手段,我们建立了一个捕捉三维空间构象的方法,帮研究人员更好了解分子三维空间构象,提取关键信息,构建 AI 学习模型,让 AI 学习、优化和构建模型。”

在进一步的研究中,团队发现一类具有高效转染能力的脂质分子普遍呈现出稳定的三角形空间构象。团队成员纪子韩介绍说:“这种三角形结构不但有利于 mRNA 装载,在酸性条件下还能更有效地插入并破坏膜结构,从而促进 mRNA 的释放效果。”

“这体现了 AI for Science 研究范式的魅力。”林耀新说,“我们依托 AI 深耕底层递送技术,突破了传统实验筛选效率低、机制不清的瓶颈,在短时间内高质量完成了三维结构优选。”后续的实验数据表明,优选后的新型 LNP 递送效率大大提高。

## 新赛道上掌握主动权

新冠疫情得到有效防控后,大部分基础研究或者临床试验已从新冠疫苗研发转向肿瘤治疗、罕见病治疗等领域。目前,LNP 在成药性、安全性、有效性方面的优异表现,让它成为生物医药领域研究最多、临床转化前景最明朗的靶向递送载体。“如果体内递送问题能够解决,该方法将成为未来生物医药领域的引领者。”苏林嘉说。

为验证该载体技术的先进性,研究人员设计了一款抗肿瘤 mRNA 药物。他们先给小鼠“种”上黑色素瘤,等黑色

素瘤长起来再施药治疗。一段时间后,他们惊喜地发现实验小鼠身上的黑色素瘤得到了有效抑制,而且部分小鼠身上黑色素瘤出现了消退迹象。

“大部分药物治疗都是控制肿瘤发展,但我们在实验中,明确看到小鼠身上的肿瘤从长起来到完全清除的全过程。”苏林嘉说。

“我们想客观评价一下这种载体和市售载体的优缺点,因此在较长的实验周期里,用优选的 LNP 对黑色素瘤小鼠模型进行实验。”苏林嘉说,“结果表明,我们的疫苗成功激活了强效 T 细胞免疫应答,并诱导高水平特异性抗体产生,实现体液免疫与细胞免疫的双重激活,有效抑制肿瘤生长,并为小鼠提供了长期免疫保护。”

尽管在实验小鼠身上看到了明显的治疗效果,但苏林嘉坦言该研究目前仍处于实验室概念验证阶段,要实现临床应用还有一段很长的路要走。

“mRNA 药物被誉为生物医药的第三次革命,而递送技术是这场革命中必须跨越的难关。”林耀新说,“长期以来,该领域的核心技术掌握在欧美国家手中。这项成果不仅是我国向‘卡脖子’难题发起的一次冲锋,更是我国在 mRNA 递送工具层面自主知识产权技术的重要积累。希望通过 AI 深度赋能,我们能在下一代核酸药物赛道上掌握更多主动权。”

相关论文信息:  
<https://doi.org/10.1038/s41551-026-01640-8>

## 发现·进展

宁波东方理工大学等

# “皮肤级”可穿戴电子设备走向商业化应用

本报(记者陈彬 通讯员吴艳洁)宁波东方理工大学副教授黄子劲团队与合作者创新性地提出“弹性微相工程”策略,结合全新设计的“双嵌入式可拉伸透明电极”,成功制备出兼具超高亮度与卓越拉伸性能的本征可拉伸有机发光二极管(is-OLED)。该器件实现了 33443 坎德拉每平方米的创纪录发光亮度与高达 120% 的拉伸率,向下一代“皮肤级”可穿戴电子设备的商业化应用迈出了标志性的一步。相关研究成果近日发表于《光:科学与应用(英文)》。

近年来,可穿戴电子产品飞速发展,能够适应人体运动的 is-OLED 成为下一代智能柔性显示的核心。然而,如何兼顾高亮度、高效率与极佳的拉伸性一直是困扰学术界的难题。

研究团队选择将 3 种具有不同延展性和表面能的弹性体(SBS、SIS、SEBS)分别掺杂到绿色聚芳(GPF)发光聚合物中进行系统对比。结果发现,弹性体 SBS 与发光聚合物 GPF 具有高度匹配的表面能,两者能达到最佳的分子级相容性。在这种最佳的相容性驱动下,混合物自组装形成了独特的“三维微相分离”结构。GPF 作为连续的主体基质,提供了通畅的电荷传输通道和发光功能,而 SBS 则像“纳米级减震器”一样均匀分散在三维结构中。这种连续均匀的弹性微相不仅极大降低了拉伸时的应力集中,避免了薄膜局部断

裂,还显著减少了电子陷阱。测试显示,掺杂 10% SBS 的混合薄膜不仅抗裂应变提升了一倍,其电子电流密度更是较纯发光层实现了逾 300% 的飞跃。

有了完美的发光层,还需要一条同样柔韧、可靠的“供电线路”。针对传统银纳米线电极粗糙且易剥落的痛点,团队设计了一种新型的水浮转移“双嵌入式可拉伸透明电极”(PAT STE),并开发出一套“水上漂”工艺——在基底上预涂覆水溶性牺牲层,接着依次旋涂导电聚合物、银纳米线以及热塑性聚氨酯弹性体基质,将其浸入水中后,水溶性牺牲层自动溶解,电极膜即可平稳浮于水面,完美避开传统物理撕扯造成的网络断裂。

这种透明柔性电极表面极致平滑,极大减少了界面电荷注入势垒,在经历 1000 次 20% 应变的拉伸循环后,电阻几乎不变,具备极佳的长期环境稳定性。

基于最优的发光层和上述 PAT STE 透明柔性电极,研究团队组装出完整的 is-OLED 器件,峰值亮度达 33443 坎德拉每平方米,亮度可与传统刚性器件媲美。同时,器件在高达 120% 的机械拉伸应变下依然能稳定发光,在 100 次 15% 动态拉伸应变后,仍能保持约 90% 的初始亮度。

相关论文信息:  
<https://doi.org/10.1038/s41377-026-02271-z>

## 2026 年现代科技馆体系联合行动启动

本报(记者高雅丽)近日,2026 年现代科技馆体系联合行动暨自然科学类博物馆系列科普活动(以下简称联合行动)正式启动。联合行动“十四五”期间联动全国 4527 座科技馆,14862 所中小学校和 1422 家科技企业、科研院所等其他单位,开展各类活动 51309 场次,宣传报道 4311 条次,线上线下服务公众达 2 亿 7329 万人次。

今年联合行动以“欢乐科学,强国同行”为主题,围绕欢乐科学周、专题科普活动、行业交流研讨、馆长专题研讨、科学教育实践能力提升工作坊和区域特色活动 6 个方面开展。今年联合行动具有四大创新特色。一是活动内容全面添“新”;二是联动范围不断向“广”;三是推动体系发展持续向“深”;四是服务供给提质向“精”。

本次活动由中国科学技术馆、中国自然科学博物馆学会联合现代科技馆体系各相关单位开展。



近日,记者从中国科学院华南植物园获悉,该园科研团队在执行“广东植物多样性全域调查与评估”项目任务期间,在广东省乐昌市南岭地区首次发现国家一级重点保护野生植物——大黄花虾脊兰(*Calanthe sieboldii*)的野生种群。该植物素有“植物界金丝猴”之称。这是广东省首次记录到该物种的野生分布,对完善区域保护植物名录及植物区系地理论研究具有重要意义。图①为大黄花虾脊兰野生种群,图②为科研人员开展野外调查。

本报记者朱汉斌 通讯员黄瑞兰报道

# 南极冰川流速加快,是上层海洋变暖惹的祸

■本报记者 叶满山

南极是全球气候系统的“晴雨表”,近年来其冰盖物质损失加剧,入海冰川动力失衡问题越发突出。中国科学院西北生态环境资源研究院冰冻圈科学与冻土工程全国重点实验室研究员康世昌团队在南极半岛 Beascochea 海湾区域证实,0-300 米上层海洋变暖是冰川流速加快的核心驱动因素。相关论文近日发表于《国际应用地球观测与地理信息科学杂志》。

## 找到核心驱动因素

南极半岛西部 Beascochea 海湾是南极气候变化最活跃的区域之一,此前已有研究证实其冰川受海温升高影响,但未明确核心驱动因素。

为厘清海洋与大气对冰川的调控机制,研究团队选取该区域为研究区,基于欧洲航天局 Sentinel-1 合成孔径雷达卫星 2015 年 5 月至 2025 年 4 月的观测数据,利用卫星穿透云雾,不受昼夜影响的优点,通过偏移追踪技术实现了对海湾内 101 条冰川流速的高精度、高精度全球监测。

通过对近十年数据的系统分析,研

究团队捕捉到冰川流速的关键变化规律:十年间该海湾冰川夏季平均流速增幅达 1.81 ± 0.65%,夏季最大增速更是达到 6.44 ± 0.74%。而且,自 2018 年起,区域内冰川流速大范围持续加快。

“2018 年是一个关键节点,冰川流速的大范围持续加快很可能是气候系统发出的临界转折信号。这意味着南极半岛冰川对全球气候变暖的响应越来越明显。”论文第一作者、团队成员康育龙博士告诉《中国科学报》。

为确定冰川流速加快的原因,研究团队采用机器学习与因果模型,量化分析海温、气温等不同因素对冰川流速的贡献,最终得出核心结论:冰川加速并非由冰川融水主导,而与 0-300 米上层海洋次表层浅部的热量输入密切相关。

“可以把冰川想象成一块和海洋接触的巨大冰块,当上层海水变暖,就像温水在底部冲刷一样,冰底融化后与地面的摩擦大幅减少,冰川自然就更容易向海洋滑动。”康育龙说,夏季冰川流速更高,是因为上层海洋夏季增温更强,对冰川末端与底部的融化作用更显著,再加上夏季气温偏高带来的表面融水,形成了加速的叠加效应。

研究同时发现,当前南极半岛冰川正呈现动力学稳定性下降的趋势。康育龙解释说,通俗来讲就是冰川“更不稳了、更难刹住车”,对外界变暖的敏感度大幅提升,支撑结构更脆弱了。

## 为气候应对指明方向

该研究不仅深化了学界对南极冰盖变化及冰-海相互作用机制的认知,还为全球海平面上升预测、气候模型改进提供了关键科学依据。

冰川加速流动带来的直接影响是南极半岛冰盖物质损失的进一步加剧,进而推动全球海平面上升。研究数据显示,按 1992 至 2017 年间南极半岛的冰量损失速度,预计在 2100 年将造成全球海平面上升 7-16 毫米,到 2200 年,海平面上升幅度将达到 10-25 毫米。

“冰川流速加速意味着冰盖物质以更快的速度流入海洋,这将对全球沿海地区的生态安全、人居安全造成影响。”康育龙说。

在气候模型优化与海平面风险评估层面,该成果为冰盖模型提供了关键约束。康育龙介绍,未来的气候模型需

纳入 0-300 米上层海洋温度的精细化驱动,强化冰-海耦合机制,同时将季节、亚季节尺度的冰川流速纳入预测框架,提升海平面风险评估的精度,让预测结果更具实际参考价值。

康育龙表示,团队将继续深耕冰-海相互作用研究领域,将 0-300 米暖水驱动机制推广到南极其他区域,检验这一机制的普适性,同时,结合冰下地形与冰架腔结构,开展三维冰-海耦合数值模拟,让相关研究更精细化。他们还将构建更长时间尺度的观测数据,进一步揭示南极冰盖的长期稳定性与临界阈值,为极地冰冻圈研究积累更多科学数据。

冰盖作为气候变化的重要指示器,正受到大气、海洋温度升高的深度影响,而冰盖一旦进入加速不稳定阶段,很可能难以逆转。“这提醒我们,减排、控温工作在势在必行且任重道远,只有全球携手采取切实有效的行动,才能减缓南极冰川的消融速度,降低海平面上升带来的全球生态风险。”康育龙说。

相关论文信息:  
<https://doi.org/10.1016/j.jag.2026.105268>

中国农业科学院植物保护研究所

# 纳米纤维变身“空调”让昆虫信息素释放更持久

本报(记者李晨 通讯员郭建英)中国农业科学院植物保护研究所农药分子靶标与绿色农药创制创新团队开发出一种纳米纤维薄膜,兼具温度调节和缓释功能,可有效延长昆虫信息素在高温下的有效期。相关研究成果近日发表于《先进功能材料》。

昆虫信息素是昆虫用来“交流”的化学物质,人工合成后可用于诱捕害虫,是一种绿色的防虫手段。但这类物质容易挥发,在田间高温下很快就会失效,防虫效果大打折扣。

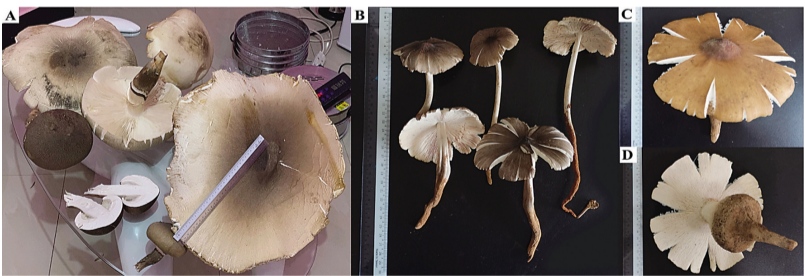
研究团队使用特定高分子材料,

添加二氧化硅和氧化锌纳米颗粒,制成了一种功能化薄膜。这种薄膜的太阳光反射率约为 94% 并能高效散热,相当于自带“防晒+空调”,可使自身温度降低 5.5℃。在降温与屏障的双重保护下,用于诱虫的信息素挥发更慢,且在紫外线、高温、高湿等恶劣条件下仍保持稳定。实验表明,该薄膜对害虫的吸引效果可持续 90 天,田间诱捕时间至少维持 8 周,展现了其在绿色害虫防治方面的应用前景。

相关论文信息:  
<https://doi.org/10.1002/adfm.75190>

中国科学院昆明植物研究所等

# 鸡枞菌“香气有别”为真菌化学分类提供新视角



蚁巢伞菌。

中国科学院昆明植物研究所供图

本报(记者高雅丽)鸡枞菌(蚁巢伞菌)是与大白蚁共生的一类野生食用菌。蚁巢伞菌肉酷似鸡肉,烹饪时鲜味浓郁,独特的感官品质深受消费者喜爱,具有很高的市场价值。近日,中国科学院昆明植物研究所山地中心研究团队联合泰国研究团队,对 3 种蚁巢伞菌进行挥发性谱分析,系统表征了可用于区分这些物种的差异化标志物。相关研究发表于《食品化学》。

当前,蚁巢伞物种鉴定常用分子生物学技术结合形态学描述的方法,全球已发现 68 个蚁巢伞物种,其中 44 个种含有分子数据。研究表明,当前真菌分类鉴定正逐步趋向于采用多相方法,即融合形态观察、分子生物学技术及化学分类学来精准确定物种分类地位。其中,挥发性有机化合物(VOCs)作为化学分类中一类关

键的代谢物指标,不仅是影响蘑菇气味的关键因素,也为物种鉴定与系统演化研究提供了新的视角。然而,基于 VOCs 谱分析在大型真菌化学分类中的应用报道较少,在蚁巢伞属中的应用研究尚属空白。

研究团队采用顶空-气相色谱-离子迁移谱技术,共得到 142 种挥发性化合物。他们通过对保留指数、保留时间和漂移时间进行定性分析,共鉴定出已知化合物 117 种,并根据化学性质将化合物分为 18 类。这些挥发性成分主要包含醇类、醛类、酮类以及酯类等。

研究人员指出,基于挥发物的差异标志物可作为蘑菇化学分类的一种有效工具,具有极大的应用潜力。

相关论文信息:  
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2026.148549>



南极大海冰川。康世昌/摄