

# 细蚕丝“织出”功能纤维大产业

◎本报记者 张晔

近日,占地3000平方米的丝蛋白生产基地和GMP标准化研发中心在杭州临安建成。苏州大学现代丝绸国家工程实验室王晓沁教授的研发团队将在这里,用一根根蚕丝“织出”功能纤维的大产业。

从“一根桑蚕丝”到“一根化纤丝”,从“纤维”到“新材料”,作为国内纺织丝绸行业唯一的国家工程实验室,苏州大学现代丝绸国家工程实验室不仅承担了丝蛋白基医疗器械的研发任务,还实现了大分子丝蛋白年产量10吨的批量生产。

面向国家战略需求,攻克行业关键技术难题,在探索中求变,在创新中领跑……近年来,该实验室持续聚焦新型功能性纤维材料、新型生物医用材料、纤维材料绿色低碳制造、纤维材料数字化智能制造及检测体系四大方向,攻克了30多项产业关键技术,取得了一系列原创性突破。

## 材料科学开启纤维新赛道

不用打针吃药,只要在皮肤上一贴就能让药物经皮下血管直达病灶……丝素蛋白智能微针给药系统着实让人惊叹。

“我们将蚕丝制成微针,借助丝素蛋白易提纯、可降解、天然无毒、无免疫原性等特点,实现经皮给药。”苏州大学卢神州教授说,蚕丝主要由丝胶蛋白和丝素蛋白组成,对人体友好,是制备微针的良好材料。

“先把丝素蛋白做成溶液,经过结构调控,浇入微米级模具,干燥后就制成了微针。”卢神州介绍说,在一个0.5平方厘米的贴片上,有225根微米级的细针,可以递送1毫克以上的药物,就像使用创可贴一样简单。由于微针短而细小,不触及神经和血管,因此实现了无痛给药。与此同时,他们通过对丝素蛋白聚集态结构的有效控制,实现了药物的缓释。

蚕丝是集轻、柔、细于一体的天然纤维,经过高科技的“塑造”,如今它早已超越了纺织面料的传统用途,展现出在健康医疗、智能感知等领域的广阔应用前景。

苏州大学现代丝绸国家工程实验室方剑教授开发的智能纤维材料,将柔性纤维与传感器合二为一,能够准确监测人体的呼吸、心率以及运动幅度;李刚教授开发的医用蚕丝缝合线,搭载丝素蛋白的载药技术,可以长效抗菌抗炎,广泛应用于各种外科手术。

作为国际竞争的重点领域,先进功能性纤维在纤维材料产业体系中具有核心地位和关键价值。生物基纤维是可循环使用的绿色纤维,也是纤维产业的发展方向。此前,生物基PTT纤维技术一直被国外垄断。直到苏州大学现代丝绸国家工程实验室与共建单位开发出具有自主知识产权的生物基PTT聚酯纤维成套生产技术,使我国成为拥有完整产业链的生物基纤维生产国,目前PTT及复合纤维产能已达50万吨。

近年来,实验室面向世界科技前沿,在纤维材料领域攻克10余项行业关键技术难题,取得50项技术成果,获批200多项专利,成为我国现代丝绸产业最重要的技术开发平台和创新基地之一。

## 基因改造助力纤丝强而优

1972年,长沙马王堆辛追夫人墓出土了一件素纱单



郑敏教授指导学生在实验室进行实验。受访者供图

衣,它薄如蝉翼,似云雾般轻柔,这件西汉时期纺织技术巅峰之作自然少不了蚕丝的参与。

如今,历经千年绵延不衰的蚕丝,在基因工程的加持下又有了新突破。苏州大学蚕桑研究所所长李兵教授利用12个家蚕种质资源,开展分子标记辅助育种,最终育成“苏秀春丰”新品种家蚕。

“将这个品种的家蚕吐出的蚕丝制备成生丝(20/22D),其强度达到96.2厘牛(cN),比市场主流品种提升13%,是目前强度最大的蚕丝。”李兵说,蚕丝直径仅为头发丝的十分之一,为了提高纺织效率和丝绸质量,提高蚕丝强度显得尤为重要,“苏秀春丰”推广后,下游纺织厂的纺丝速度一下子提高10%,大大提升丝绸产品的竞争力。

中国是丝绸的发源地,丝绸产量占世界的80%。但是合成纤维的问世,引发了市场需求的深刻变化,加之天然蚕丝自身的缺点,丝绸产业受到巨大冲击。

不过,蚕丝并没有因此退出历史舞台,基于蚕宝宝吐丝的灵感而衍生的新型纤维材料,在现代科技的加持下也创造出不是真丝似真丝的价值,充分弥补了蚕丝天然产量的不足,极大拓展了蚕丝的应用领域。

“这件衣服摸上去有丝滑感,穿上去有亲肤感,水滴上去吸湿快散,汗沾上去瞬间无味。”苏州大学郑敏教授从包里掏出一套T恤短裤向记者介绍,她领衔的纳盾协同创新团队研发的多功能原位聚合化学纤维,从分子水平上将纳米活体矿石键入合成纤维大分子链中,破解了从纤维原料端实现多功能集成这一世界难题。

这项技术还在医疗领域大放异彩,用该纤维制成的抗菌自修复医用敷料已进入山东第一医科大学第三附属医院预临床试验阶段,成为纺织、材料化学、医学等各学科交叉融合的结晶,已获国内国际发明专利48项。

走过数千年,蚕丝依然吸引着世人的目光,科学家也在这种古老天然产物中不断找到新灵感。最早开始驯化蚕的古人何曾想到,数千年后,蚕丝已成为散发着现代科学技术魅力的“新材料”。近年来,苏州大学现代丝绸国家工程实验室已成为国内丝绸行业最高学术研究中心,提高了丝绸和功能纤维产业的核心竞争力,实验室参与的国家级、省级重大工程项目达40余项,带动间接经济效益110亿元。

## 延伸阅读

### 高端科技实现纺织绿色蝶变

目前,苏州大学现代丝绸国家工程实验室针对纤维材料染色、着色等行业痛点,还先后开发了超临界二氧化碳无水前处理、匹染、纤维及功能性后整理,以及光子晶体结构生色等20余项技术成果,助力我国纤维产业转型发展实现破局闯关、绿色蝶变。

“我们模仿蝴蝶翅膀,设计了一种200—400纳米的微纳结构,简单来讲,就是一个个小球堆积成的微纳结构,可以与可见光产生相互作用,呈现出各种颜色。”苏州大学纺织与服装工程学院院长张克勤介绍。

基于这一原理,科研团队实现了在结构色纤维研发上的突破,研发出全球首个结构色纤维产品,让传统的丝绸展现绚丽夺目的结构色,并有望解决真丝印染过程中的污染难题。

“未来我们会看到,这种通过结构色产生的隐身车衣,更进一步地丰富了汽车涂料、汽车的颜色。”张克勤告诉记者。

随着“双碳”目标的提出,国家对纺织产业绿色化发展的要求日益紧迫。

“传统的印染以水为介质,印染废水含有大量的浆料、染料、表面活性剂、酸碱及盐等化学品,对生态环境造成了沉重负担。”苏州大学龙家杰教授介绍,为解决这个行业共性难题,他们组建了“超临界无水染整技术”研发团队。

经过近20年的研发,他们攻克了关键技术,在国际上首次成功研制出超临界二氧化碳流体动态染色技术,解决了高品质无水染色的难题。

龙家杰介绍,超临界二氧化碳流体是一种绿色、生态、环境友好的介质,在染色加工过程中织物呈干燥状态,染色产品无需烘干及常规染后清洗。染色时也不用添加染色助剂,没有染色废水及其他废弃物产生,染后也不需任何化学方法处理,可彻底实现清洁、绿色、生态、环保化加工。

## 寻材问料

### 金属纳米团簇：化身新型光波导材料

◎本报记者 吴长锋

近日,安徽大学先进材料原子工程研究中心副教授陈爽和教授朱满洲组成的科研团队,设计并合成了具有橙色和红色发光的金属纳米团簇,两种金属纳米团簇的晶体都表现出优异的光波导性能,为有源波导和极化材料家族提供了新成员。这种材料在未来信息存储、集成光学等领域具有潜在应用前景。相关研究成果日前发表在《科学》杂志上。

配体保护的金属纳米团簇具有原子级精确的结构和良好的光学性质等特点,非常适合用于光电器件,并且团簇的光学性质可以通过金属掺杂、配体调控、价态调整等手段进行调控。因此,金属纳米团簇非常适合用作光波导材料。

由于金属纳米团簇间的多种弱相互作用,其晶体表现出一定程度的柔韧性,弯曲和分支状态的晶体仍然具有明显的光波导行为。金属纳米团簇的晶体结构和堆积方式的差异,使它们在光波导过程中表现出不同的偏振发光,进而使它们的晶体能表现出更强的光致发光。光致发光是指物体依赖外界光源进行照射,从而获得能量,产生激发导致发光的现象。

“我们在一次实验中偶然发现,团簇晶体在非聚焦光刺激下呈现边缘亮、中间暗的特征,这是典型的光波导特性。”陈爽告诉记者,通过不断地摸索尝试,他们得到了不同形态的团簇晶体,发现这些晶体都具有优异的低损耗光波导行为,并且不同团簇的偏振行为差异巨大。随后,通过解析这些团簇晶体的空间结构,研究人员详细了解了团簇结构与光波导和偏振行为的关联性,从原子水平上弄清了其中的机理。

研究人员采用刻蚀的方法制备了金属纳米团簇,并通过改变激光束在一维棒状晶体的不同位置,获得了空间分辨率的光致发光显微图像。计算表明,其光损耗系数数值低于大多数已报道过的有机、无机以及杂化材料的损耗。

研究人员介绍,金属纳米团簇光波导材料具有优异的性能。首先,金属纳米团簇的分子内相互作用抑制了非辐射跃迁,使得它们有更强的光致发光;其次,金属纳米团簇的分子间相互作用导致了晶体堆积致密、结晶度高和表面光滑,有效地减少了散射引起的损耗;再次,金属纳米团簇较大的斯托克斯位移能够避免光在传播过程中的重吸收。

光波导材料在光通信、光学传感和光学计算等领域发挥着重要作用。研究人员表示,此次金属纳米团簇光波导行为的发现,填补了纳米团簇光子性质研究的空白,为开发配体保护的金属纳米团簇作为活性光波导材料提供了理论基础和应用前景,并为构建基于团簇的小型化集成纳米光子器件提供了支持。

### 我国科学家成功制备轻质高强金属力学超材料

科技日报讯(记者王春)金属力学超材料是由特定结构单元在三维空间按一定规律排列而构成的多孔金属材料,也称为金属点阵材料,是新一代先进轻质高强材料。8月14日,科技日报记者获悉,上海交通大学材料科学与工程学院的顾剑锋教授团队联合澳大利亚皇家墨尔本理工大学马前教授团队,成功打印出密度为1.63克/立方厘米的钛合金(Ti-6Al-4V)力学超材料,其屈服强度和最大压缩强度分别达到308兆帕和417兆帕。相关研究成果日前发表在《今日材料》上。

研究团队从单一变形机制的经典Gibson-Ashby模型出发,建立了多变形机制(拉伸、弯曲和剪切)共同作用条件下的力学模型,该模型能有效地预测不同孔隙率的金属力学超材料的强度和弹性模量,同时也适用于去合金纳米多孔材料、微纳尺度的金属多孔材料和人体骨骼的天然多孔材料的强度和弹性模量预测。此外,该模型可以指导实施对各变形机制的调控,可谓是对Gibson-Ashby经典模型从基本原理到应用范围的全方位拓展。

更为重要的是,该模型从变形原理上拓展出一个设计轻质高强金属力学超材料的新概念。研究团队以上述理论创新为基础,成功打印出钛合金力学超材料,其屈服强度和最大压缩强度远高于相同孔隙率或密度条件下各类金属多孔材料或超材料的性能,比商用镁合金WE54和AZ91更轻、更强、更耐蚀,有望在航空航天、生物医学、化学工程、空间和能源技术等领域获得应用。

研究人员表示,该工作的理论创新以及对不同设计方案的实验验证,为后续设计开发各类轻质高强金属力学超材料提供了一个新的理论工具。

### 新型有机长余辉喷雾助力表面无损探伤

科技日报讯(记者陈曦 通讯员刘晓艳)8月14日,科技日报记者获悉,天津大学胡文平教授、汪洋副教授团队成功研发出一种多功能有机长余辉喷雾,可实现溶剂化加工并大面积喷涂,在信息标记与保护、表面无损探伤领域具有应用前景。相关研究成果日前发表于国际期刊《先进材料》。

所谓长余辉,指的是在光照下存储能量,撤掉光源后缓慢释放激发态能量,实现持续性发光的现象。传统长余辉材料主要应用于建筑装饰及路牌标识领域。

目前市场上现存的商品化长余辉材料的主要成分为无机矿物质,其缺点包括制备消耗铊、铟等稀有元素,已不符合可持续发展理念;制备工艺复杂且具有潜在毒性,限制了该类材料的进一步发展。

而有机长余辉材料因其绿色环保的制备工艺、方便可调的发光性能及相比无机材料更为灵敏的外界环境响应特性,近年来得到了国内外发光材料研发团队的广泛关注。

为了发挥有机长余辉材料制备工艺简单的突出优势,胡文平、汪洋研发团队提出了一种可溶剂化加工、可大面积覆盖且易于实现的材料制备策略,通过将常见的有机小分子和商用紫外光固化胶水复配,成功诱导出了高性能长余辉发射。

这一发现有望促进有机长余辉材料在信息标记与保护、表面无损探伤等领域的深度应用。值得注意的是,在表面无损探伤领域,对比磁粉检测和渗透检测,有机长余辉材料对物体表面伤痕的成像对比度高,可实现即时成像,且技术附加值更高。

# 微藻—材料复合体有望变碳为宝

◎本报记者 魏依晨

微藻不仅是地球上古老而又广泛存在的光合作用生物,同时也是地球上光合作用效率最高的生物,其光合作用效率是陆生植物的10—50倍。

如今,对微藻光合作用能量的利用有了新途径。近日,南昌大学化学化工学院特聘教授熊威联合浙江大学化学系唐睿康教授在《国家科学评论》上首次提出了“微藻—材料复合体”的概念,系统地梳理了这一复合体的构建方法及其在能源、环境和健康领域的应用,阐释了微藻—材料复合的化学机制。

## 材料与微藻结合有助实现碳中和

当前,全球正面临着碳减排和资源短

缺的双重压力,而微藻又被视为极具潜力的新型微生物光合平台,具有将太阳能和二氧化碳直接转化为各种生物基产品的潜力,该生产模式被称为光驱固碳合成技术,可以同时起到固碳减排和绿色合成的效果,是有望助力“双碳”目标实现的新型生物制造技术路线。

“据估算,微藻每年可固定二氧化碳约900亿吨,以微藻为代表的海洋浮游植物年固碳量占全球净光合固碳的40%以上。”8月14日,熊威在接受科技日报记者采访时说,然而受制于微藻自身的特性,微藻光合作用能量转化尚无法实现大规模应用。

“在自然界中,生命体可以通过生物矿化为自身形成有机—无机复合材料,以实现功能的进化并增强环境适应性。受到生物矿化现象的启发,科学家们尝试通过材料与微藻的结合,赋予微藻新的功能,以实现微藻光合作用能量的

利用。”上海师范大学生命科学学院马为民教授认为,相比于传统的基因工程改造,这种基于材料的微藻功能化改造操作更加简便,成本更加低廉。未来,微藻—材料复合技术在清洁能源、环境保护和生命健康等领域的应用将有助于实现碳中和。

据了解,微藻—材料复合体的研究已经进行了十多年,其目的是在能源、环境和医学等领域的应用中增强复合体的生物功能。微藻与材料的复合已经在二氧化碳固定、氢气生产、生物电化学能量转换和生物医学治疗等方面取得了重要进展。

## 两种机制让微藻功能得到改进

“微藻光合固碳的应用受到细胞稳定性和可重复利用性的限制。”熊威说,二氧化硅固定化蓝藻是微藻—材料复合体增强光合能量转换的开创性尝试,为提高微藻光合固碳能力开辟了新的道路。随后研究团队又发展了二氧化硅单细胞包裹蓝藻提高光合作用效率的策略。通过材料诱导微藻聚集,还能促使微藻在固碳的同时产生氢气。

光合作用的过程伴随着生物电流。然而,生物电只存在于蓝藻细胞或叶绿体内。如果要利用胞内生物电,光合作用产生的电子必须穿过细胞质到达细胞膜并输出到外部电极。“基于微藻—电极复合的生物光伏系统(BPV)为生物电化学能量的高效转换提供了一种方式。”

熊威说。

“微藻—材料相互作用有两个层面的含义,一是材料诱导构建微藻—材料复合体,二是材料对微藻功能进行改进。”熊威解释道,从构建微藻—材料复合体的角度来看,其化学机制是微藻通过分子间作用力、共价键或配位键与材料结合形成生物—非生物界面,材料通过干扰微藻与胞外环境之间的物质和能量传递来影响微藻的功能。除了微藻—材料复合体的结构外,复合体结构中微藻—材料的相互作用是最关键的问题。

“基于以上研究,我们提出了材料改进微藻功能的两种机制:一是微藻与材料间的电子传递,二是材料诱导的细胞微环境转变。”熊威说。

据了解,目前蓝藻和绿藻是用于构建微藻—材料复合体的最主要的两个微藻种类。然而,还有许多其他门类的微藻有待研究。除了微藻本身的特性外,合适的材料策略是影响微藻—材料复合体功能的关键因素。

熊威说,在微藻细胞表面原位形成仿生材料是构建微藻—材料复合体的主要途径,但该途径仍存在许多有待解决的问题。“离心操作对细胞造成的损伤不可避免,细胞表面的精细材料结构尚未实现,微藻—材料复合体的循环利用性有待改进,微藻—材料复合体的寿命有限……”熊威说。

熊威认为,这些研究强调了材料对微藻的改造作用,凸显了材料在生物进化中的重要意义,为材料在生物学中的应用提供了创新的思路。



视觉中国供图