

2023年
第22期

先进制造 与新材料

ADVANCED MANUFACTURING
& NEW MATERIALS BRIEFING



上海科学技术情报研究所
上海市前沿技术发展研究中心
技术与创新支持中心(TISC)

自然界中的“生物钢”——蜘蛛丝

编者按

蜘蛛丝是蜘蛛通过腺体分泌的一种蛋白质生物材料，是自然界中最令人着迷的材料之一。与其他天然材料相比，蜘蛛丝具有优异的力学性能和良好的生物相容性，被誉为“生物钢”，在军事、医学、工业、建筑、纺织等方面具有广阔的应用前景。然而，由于蜘蛛具有同类相食的习性，无法像家蚕一样密集养殖，而且蜘蛛个体的丝产量较低，蜘蛛丝无法像蚕丝一样实现商业化生产，这极大地限制了蜘蛛丝在各领域的应用。

发展人造蜘蛛丝和仿蜘蛛丝纤维成为解决上述问题的有效途径。近年来，随着科学技术的发展和对蜘蛛丝形成机制的深入研究，人造蜘蛛丝和仿蜘蛛丝纤维的制备方法取得了重大突破，但在提升力学性能和实现大规模生产方面仍面临很多问题。

本期《先进制造与新材料》简报对近期国内外在天然蜘蛛丝的

机制研究以及人造蜘蛛丝和仿蜘蛛丝纤维的材料合成、应用研究等

方面取得的相关成果予以介绍。

目 录

机制研究.....	1
蜘蛛丝的神秘力量：科学家解锁超级纤维的秘密.....	1
我国科学家绘出首张蛛丝形成机制分子细胞图谱.....	2
材料合成.....	4
环保人造蛛丝产量提高八倍.....	4
东华大学研究团队用转基因蚕合成蜘蛛丝.....	5
应用研究.....	8
受神经元启发的用于信号传输的粘性人造蜘蛛丝.....	8
仿生人造蜘蛛丝光催化剂.....	10

机制研究

蜘蛛丝的神秘力量：科学家解锁超级纤维的秘密

许多科学家都渴望了解蜘蛛纺丝的非凡能力，这种丝线具有极高的强度、轻便和柔韧性。事实上，蜘蛛丝的强度比钢铁还要高，比凯夫拉纤维还要坚韧。然而，目前还没有人能够复制蜘蛛的工作。若能开发出具有这些特性的合成等效物，可能会打开一个充满可能性的全新世界。人造蜘蛛丝可以取代工业中的凯夫拉尔、聚酯和碳纤维等材料，例如用于制造轻质灵活的防弹背心。

南丹麦大学（SDU）生物化学与分子生物学系的博士后、生物物理学家 Irina Iachina 参与了这场寻找超级蛛丝配方的竞赛。她在南丹麦大学攻读硕士学位时就对蜘蛛丝非常着迷，目前她正在波士顿麻省理工学院研究这一课题，并得到 Villum 基金会的支持。

迄今为止，人们已经利用各种技术对蜘蛛丝进行了分析。这些技术通常需要将丝线（也称纤维）剪开，以获得用于显微镜检查的横截面，或者冷冻样品，这可能会改变丝纤维的结构。

Irina Iachina 说：“我们希望研究未经切割、冷冻或任何操作的纯净纤维。”为此，研究团队使用相干反斯托克斯拉曼散射、共聚焦显微镜、超分辨共聚焦反射荧光损耗显微镜、扫描氦离子显微镜和氦离子溅射等侵入性较小的技术，来观察蜘蛛丝的内部结构。他们发现，蜘蛛的丝纤维由至少两层脂质外层（即脂肪）组成。在它们的后面，即纤维的内部，有许多所谓的纤维丝，这些纤维丝呈直线排列，紧密地并排在一起。

Irina Iachina 团队发现，蜘蛛丝并没有像人们想象的那样扭曲。“因此我们现在知道，在尝试制造合成蜘蛛丝时，没有必要扭曲它们。”Irina Iachina 说。

研究团队使用的蛛丝纤维来自马达加斯加金眶蜘蛛，这种蜘蛛生产两种不同类型的蛛丝。一种被称为 MAS (Major Ampullate Silk fibers) ，用于构建蜘蛛网，也就是蜘蛛用来悬挂的丝，它非常结实，直径约为 10 微米。另一种被称为 MIS (Minor Ampullate Silk fibers) ，是建筑的辅助材料，它更具弹性，直径通常为 5 微米。根据研究人员的分析，MAS 丝含有直径约为 145 纳米的纤维，而 MIS 丝的直径约为 116 纳米。每条纤维都由蛋白质组成，其中涉及多种不同的蛋白质。这些蛋白质是蜘蛛在制造丝纤维时产生的。

了解蜘蛛如何产出如此坚固的纤维非常重要，但制造这种纤维也具有挑战性。Irina Iachina 表示：“现在，我正在对蛋白质如何转化为丝绸进行计算机模拟。当然，我们的目标是学习如何生产人造蛛丝，但我也有兴趣帮助人们更好地了解我们周围的世界。”

相关链接：

[1] 蜘蛛丝的神秘力量：科学家解锁超级纤维的秘密[EB/OL]. (2023-09-15)[2023-11-20].

<https://c.m.163.com/news/a/IEMMFJA50553XSFT.html>.

[2] New details about the strongest spider silk in the world [EB/OL]. (2023-06-20)[2023-11-20].

https://www.sdu.dk/en/nyheder/edderkoppesilke_2023.

我国科学家绘出首张蛛丝形成机制分子细胞图谱

电影里的蜘蛛侠抬手喷出蛛丝，这样的场景未来借由人造蛛丝或将成为可能。西南大学科研团队通过揭示蛛丝合成的生物学机制，绘制出首张蛛丝形成机制的分子细胞图谱，为人工合成蛛丝提供关键理论基础。

蜘蛛牵引丝是蜘蛛的大壶状腺分泌的蛋白质类丝纤维，由蛛丝蛋白、有机酸、脂类等物质组成，具有良好的机械性能和仿生应用潜力，广泛应用于生物医学、高强度复合材料等领域。“天然蛛丝主要来源于蜘蛛结网，且蜘蛛因同类相食的特性难以高密度养殖，从自然界获取的天然蛛丝产量非常有限。”西南大学种质创制大科学中心教授王翊介绍，长期以来科学界一直希望实现人工合成蛛丝，致力于对蛛丝的合成分泌过程进行研究。

王翊课题组选取在我国广泛分布的棒络新妇蜘蛛（*Trichonephila clavata*）为研究对象，构建出这种蜘蛛的染色体级高质量基因组，注释获得 37607 个蛋白质编码基因。研究发现，大壶状腺丝蛋白基因（Major ampullate spidroins, MaSps）具有成两簇分布于染色体的重要特征。通过多组学联用分析，该研究揭示了蛛丝蛋白、有机酸、脂类和几丁质在这大壶状腺尾部（Tail）、囊腔（Sac）、导管（Duct）三段中的层级合成模式，并首次完成蜘蛛大壶状腺的单细胞图谱和空间转录组图谱绘制，定义了组成大壶状腺的 10 种细胞类型，揭示了丝腺发生与发育的分子机制。

为了探索泌丝器官基础生物学功能的普适性，该研究将蜘蛛大壶状腺与模式泌丝动物家蚕的丝腺进行多维度组学比较分析，发现它们具有趋同进化的三段式丝腺组织结构、同源基因表达模式、丝纤维的蛋白质和代谢物组成。研究

通过对家蚕的遗传操作验证了趋同特征对泌丝不可或缺，是动物丝纤维形成的基本要素。

“用通俗易懂的话来说，我们发现蜘蛛丝与蚕丝是同一套制作方式，只是‘原材料’和‘后期加工流程’有所不同。”王翊教授介绍。蜘蛛丝腺与蚕丝腺产生机制几乎相同，这对今后人工制造蜘蛛丝、蚕丝都将带来极大帮助。

王翊教授表示，如果将蜘蛛丝腺比作一条汽车生产线，那么蛛丝便是这条生产线上组装的车辆。团队探究的便是这条生产线的各个部分，分别组装蜘蛛丝的哪个成分，这些成分又是如何形成的。

目前，相关研究成果已由国际学术期刊《自然·通讯》（*Nature Communications*）在线发表。科学界认为，这项研究多维度地揭示了蜘蛛牵引丝三阶合成的生物学机制，为研究蜘蛛起源与进化、解析牵引丝性能决定因素、创制蜘蛛化蚕丝素材提供了关键理论基础。

相关链接：

[1] 我国科学家绘出首张蛛丝形成机制分子细胞图谱[EB/OL].(2023-02-19)[2023-11-15].

http://www.news.cn/tech/2023-02/19/c_1129377930.htm.

[2] 西南大学“生物钢”人工制造研究迈出重要一步[EB/OL].(2023-02-19)[2023-11-20].

<https://www.cq.chinanews.com.cn/news/2023/0219/39-42995.html>.

[3] Wenbo Hu, Anqiang Jia, Sanyuan Ma et al. A molecular atlas reveals the tri-sectional spinning mechanism of spider dragline silk [J/OL]. *Nature Communications*. (2023-02-15)[2023-11-20].

<https://www.nature.com/articles/s41467-023-36545-6>.

材料合成

环保人造蛛丝产量提高八倍

微生物合成材料是石油衍生合成聚合物的具有吸引力的替代品，因为它们是可再生的和可生物降解的。合成生物学的最新进展使生产具有精确控制的蛋白质序列、功能域和均匀分子量的蛋白质材料（PBM）成为可能，从而产生超越天然蛋白质材料和石油衍生合成聚合物的高且可调节的机械性能。蜘蛛丝就是一个例子，它以高拉伸强度和高韧性的独特组合而闻名。这种极具吸引力的机械特性促使人们进行了数十年的研究，以利用快速生长的微生物宿主生产丝和仿丝材料。

美国华盛顿大学工程学院能源、环境和化学工程研究团队在合成蜘蛛丝的生产方面取得了新突破。研究人员通过使用工程化的贻贝足蛋白（Mfp）来制造双末端 Mfp 融合丝，将产量提高 8 倍，并提高了强度和韧性。贻贝足蛋白是一类通过贻贝足腺分泌的蛋白质复合物。相关研究发表在《自然·通讯》（*Nature Communications*）杂志。

如果要将重组蜘蛛丝用于日常，提高产量至关重要，特别是时尚行业对可再生材料的需求很大。在一种工程贻贝足蛋白的帮助下，研究团队创造了新的蜘蛛丝融合蛋白，称为双端 Mfp 融合丝（btMSilk）。微生物生产的 btMSilk 的产量是重组蛛丝的 8 倍。btMSilk 纤维在重量轻的同时显著提高了强度和韧性。这可能会为服装制造业带来革命性的变化，为传统纺织品提供一种更环保的替代品。

研究人员表示，天然蜘蛛丝的优异机械性能来自于它庞大而重复的蛋白质序列。然而，让快速生长的细菌产生大量重复性蛋白质极具挑战性。为了解决这个问题，团队决定寻找可在基因上与丝素蛋白片段融合以促进分子相互作用的无序蛋白质，这样就可在不使用大的重复蛋白的情况下制造出坚固的纤维。

利用合成生物学，研究人员可以剪切和粘贴各种天然蛋白质的序列，然后在实验室中测试这些设计的新特性和新功能。在研究贻贝足蛋白的过程中，他们发现了一个新策略。贻贝足蛋白 5 (Mfp5) 是贻贝足丝尖端分泌的一种本质上无序的蛋白质，研究人员将 Mfp5 片段的双端融合，发现其显著增强了 β -纳米晶体的排列——这与天然蜘蛛丝优异的机械性能相关，并且末端片段之间的阳离子- π 和 π - π 相互作用促进了分子间相互作用，最终增强低分子量蛋白质材料的强度和韧性。

研究人员表示，新合成丝是用工程细菌制成的廉价原料，所以它是一种可再生和可生物降解的替代品，可以替代尼龙和聚酯等石油衍生纤维材料。

相关链接：

[1] 环保人造蛛丝产量提高八倍[EB/OL]. (2023-05-12) [2023-11-15].

<https://www.caa.org.cn/article/52/3705.html>.

[2] Jingyao Li, Bojing Jiang, Xinyuan Chang et al. Bi-terminal fusion of intrinsically-disordered mussel foot protein fragments boosts mechanical strength for protein fibers [J/OL]. Nature Communications. (2023-04-14)[2023-11-20].<https://www.nature.com/articles/s41467-023-37563-0>.

东华大学研究团队用转基因蚕合成蜘蛛丝

尼龙等商业合成纤维的生产通常以化石燃料为原料，在生产过程中会向环境中排放温室气体以及有害的微塑料。在机械性能方面，有理论表明工程材料的拉伸强度和韧性特性是相互排斥的，即两者不可兼得，因此目前商业合成纤维往往只能在这两种性能之间进行折中。

蜘蛛丝被视为一种极具吸引力的合成纤维可持续替代品，它具有复杂的特性组合，强度高、重量轻且超柔韧，是一种急需开发的战略资源。然而，人造蜘蛛丝想要完美复制天然蜘蛛丝存在诸多难点。第一，蜘蛛丝的机械性能由其蛋白质四级结构决定，而蛋白质四级结构又受到初级蛋白质结构和纺丝过程的影响。然而，人们一直未完全探明其中机制，因此无法复制天然蜘蛛丝纺丝所需的物理化学环境；第二，天然蜘蛛丝存在成分为糖蛋白和脂质的表面层，能够帮助其承受湿度和阳光照射，被喻为抗衰老“皮肤层”，而人造蜘蛛丝难以复制这一保护层。基于这些因素，目前可用的大多数合成蜘蛛丝纤维与其天然对应物相比在一个或多个方面表现出较差的机械性能。

东华大学研究团队成功利用转基因蚕合成了蜘蛛丝，其生产的纤维比防弹背心中使用的凯夫拉纤维坚韧 6 倍。这也是首个用蚕生产全长蜘蛛丝蛋白的研究。相关研究成果发表在《物质》(Matter) 杂志。

蚕可以纺丝，如果修改相关基因，按照逻辑，蚕可以用纺丝的方式生产其他的“丝”。家蚕的丝腺和蜘蛛丝腺表现出非常相似的理化环境。为了从蚕中纺出蜘蛛丝，东华大学研究团队采用 CRISPR-Cas9 基因编辑技术，并通过数十万次

向受精蚕卵的微量注射，将蜘蛛丝蛋白基因导入蚕的 DNA 中，使其在蚕的腺体中表达。

使用转基因蚕生产蜘蛛丝，如何达到甚至超越天然蜘蛛丝的强度和韧性是一个重要问题。

研究人员首先要找到影响强度和韧性的基本因素。他们找来尼龙和凯夫拉纤维，两者虽然都是聚酰胺纤维，但在韧性和拉伸强度方面表现出显著差异，尼龙具有更高的韧性，而凯夫拉纤维则表现出优异的拉伸强度。

聚合物的机械性能与其分子结构密切相关，主要由氢键等非共价相互作用决定。研究人员通过对比尼龙和凯夫拉纤维的机械性能，提出了一个理论框架，阐明了决定纤维韧性和强度的基本因素。

随后，采用同源建模方法，他们引入一种新颖蚕丝的“最小基本结构模型”。该模型适用于解释和预测纤维之间的机械性能差异。此外，它还指导蜘蛛丝蛋白在家蚕丝腺内的“本土化”，使蜘蛛丝蛋白适应蚕丝腺，能够正确纺丝。

最终，研究人员通过转基因蚕获得的全长蜘蛛丝纤维具有高拉伸强度（1299 MPa）和卓越的韧性（319 MJ/m³）。该纤维可用作手术缝合线，还可用于制造更舒适的服装和创新型的防弹背心，并在智能材料、军事、航空航天技术和生物医学工程方面有应用前景。

鉴于蚕丝是目前唯一大规模商业化、饲养技术成熟的动物丝纤维，利用转基因蚕生产的蜘蛛丝纤维有望实现低成本、大规模商业化。

另外，该研究针对蜘蛛丝纤维的韧性和强度的理论为开发超级材料提供了重要的指导。基于该理论，研究人员计划利用天然和工程氨基酸生产蜘蛛丝纤维。研究人员表示，工程氨基酸的引入将为工程蜘蛛丝纤维带来无限潜力。

相关链接：

[1] 科技新突破：我国科学家用转基因蚕合成了蜘蛛丝[EB/OL]. (2023-09-22)[2023-11-15].

<http://www.stdaily.com/index/kejixinwen/202309/687e9891750a4648a291e5d1aa509cab.shtml>.

[2] 中国科学家用转基因蚕合成蜘蛛丝，兼具高强度和高韧性，有望成为合成纤维的绿色替代品[EB/OL]. (2023-09-22)[2023-11-15]. https://www.sohu.com/a/722688486_121124375.

[3] Junpeng Mi, Yizhong Zhou, Sanyuan Ma et al. High-strength and ultra-tough whole spider silk fibers spun from transgenic silkworms [J/OL]. Matter. (2023-10-04)[2023-11-20].

[https://www.cell.com/matter/pdfExtended/S2590-2385\(23\)00421-6](https://www.cell.com/matter/pdfExtended/S2590-2385(23)00421-6).

应用研究

受神经元启发的用于信号传输的粘性人造蜘蛛丝

神经元在生物体内传输信号，并启发了用于柔性电子、智能设备和神经态计算机等领域人工神经材料及器件的开发。神经元纤维表现出优异的机械鲁棒性，并粘附在组织和器官上，以在运动过程中维持其完整的形状和主要功能，这一点在人工神经元材料制备方面很少有考虑。蜘蛛的粘附丝表现出高强度和高韧性，以及用于捕捉猎物的高粘附性。这为设计具有良好粘附性和机械鲁棒性的人工神经纤维材料提供新的思路。通过模仿蜘蛛丝的分子结构和纺丝过程，人们已经开发出各种力学性能优异的水凝胶纤维。如果引入粘附性和离子导电性于其中，则具有优异粘附性、机械鲁棒性和信号传输的人工神经纤维材料的开发将成为可能。然而主要挑战在于如何在连续纺丝的基础上调节人工纤维分子间的相互作用和分级结构，从而实现力学性能和电学性能的良好结合。

南开大学刘遵峰教授团队、中国药科大学周湘副教授团队联合东华大学朱美芳院士团队报道一种具有机械鲁棒性、优异粘附性和离子导电性的人造蜘蛛丝用于人工神经的信号传输。该研究工作以“Neuron-Inspired Sticky Artificial Spider Silk for Signal Transmission”为题发表在《先进材料》 (*Advanced Materials*)。

受蜘蛛丝的分子结构和纺丝过程的启发，该人造蛛丝材料基于质子供体-受体 (PrDA) 序列的设计，由质子转移作用在分子链间形成两性电解质基团，通过静电相互作用，PrDA 材料可以像蜘蛛丝一样连续牵引纺丝，并且对于多种质子供体-受体组合体系均适用。所获得的 PrDA 纤维具有优异的机械强度和韧性，

最好的 PrDA 组合纤维的拉伸强度可达 270.38 MPa，韧性可达 105.69 MJ·m⁻³，性能接近天然蜘蛛的粘附丝。PrDA 纤维可粘附在多种不同基质材料表面，最大粘附强度可高达 9.17 MPa。同时，PrDA 纤维还具有优异的离子导电性，使得信号传输成为可能，可作为生物电极用于肌电信号（EMG）和心电信号（ECG）的采集。此外，基于 PrDA 人造蛛丝材料构建人工突触晶体管，实现模拟神经信号的输出和调控。

将相同摩尔量的质子供体单体和质子受体单体通过自由基聚合制备一系列不同质子供体-受体序列的 PrDA 水凝胶。类似于两性离子生物分子，如氨基酸和蛋白质，质子可以从质子供体的酸性基团转移到质子受体的碱性基团，从而生成阴离子和阳离子基团，再通过分子链之间的静电相互作用物理交联而成胶。通过仿生蜘蛛的纺丝过程，将 PrDA 水凝胶牵引纺丝制备 PrDA 纤维。

与天然蜘蛛的纺丝过程类似，这种牵引纺丝工艺对环境友好、能耗低，符合新一代纤维纺丝行业的高标准需求。有趣的是，PrDA 水凝胶的纺丝能力，与质子供体和受体的 pKa 有关系。对于具有较小 pKa 值的质子供体和具有较大 pKa 值的质子受体组合后的 PrDA 水凝胶，可获得更优异的纺丝性能。PrDA 水凝胶的活化能越小，L_{max} 越大，牵引纺丝越容易。在分子水平上，PrDA 水凝胶优异的可纺性归因于静电相互作用的存在，从而导致质子转移形成的聚合物链中的动态交联。在牵引力作用下，阳离子基团和阴离子基团分离并结合，动态形成静电相互作用，最终导致 PrDA 水凝胶延伸形成排列的分子链。此外，PrDA 纤维的拉伸强度也与 pKa 有一定关系。质子供体具有越大的 pKa，质子受体具有越小的 pKa，PrDA 纤维的拉伸强度越高。在所研究的 PrDA 纤维中，APA（pKa 为 4.32 的质子供体）和 AM（pKa 为 -0.83 的质子受体）组合获得 270.38 MPa 的

高断裂强度和 $105.69 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-3}$ 的高韧性，这接近天然粘附蛛丝（断裂强度为 500 MPa，韧性为 $150 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-3}$ ）的水平。

与粘性蜘蛛丝类似，PrDA 纤维对多种材料都表现出很强的粘附力。由 P(VSA-co-DMAPAA) 纤维编织的人造蜘蛛网可以粘附多种材料，包括纸张、玻璃、硅橡胶、尼龙、铝箔、聚丙烯和聚甲基丙烯酸甲酯。这应归因于两性离子聚合物链中存在阴离子、阳离子和脂肪族链段，它们通过各种分子间作用机制与不同基底表面相互作用，包括氢键、离子-偶极相互作用、静电相互作用、范德华相互作用、偶极-偶极相互作用和金属络合等。另外，通过粘附剪切应力测量，PrDA 纤维对印刷纸的剪切应力和剪切韧性分别为 9.17 MPa 和 $63.22 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-3}$ ，这是已知报道中粘附水凝胶材料中最好的。

神经元纤维可以在人体组织器官间通过离子传导来通信和传输信号。类似地，在人机交互系统中也需要有良好的界面兼容性来检测来自人体皮肤的电信号并收集到仪器设备中。因此，界面粘附以及良好电信号传导对于人机交互界面电极材料是非常重要的。该工作研究了 PrDA 纤维的离子导电性能，并将其作为界面传导层来捕获人体皮肤的电信号，获取人体的 ECG 和 EMG 信息。

此外，该研究还以 PrDA 人造蛛丝作为栅极材料，构建一种柔性人工突触晶体管器件，利用 PrDA 纤维材料的离子调控作用，实现类似于神经突触的信号调控效果。

综上所述，该研究项目受神经元和蜘蛛粘附丝的启发，基于 PrDA 水凝胶纤维开发了一种用于生物电信号传输的可纺粘性导电人造蛛丝材料。PrDA 人造蛛丝的两性离子聚合物链间的静电相互作用保证了优异的牵引纺丝能力、力学性能和对不同类型表面的粘附性能。同时，PrDA 人造蛛丝显示出良好的离子导电

性，是捕捉人体生物电信号并传输到检测仪器的理想界面材料。此外，人工突触晶体管的构建实现了拟神经信号的可控调控。因此，该研究将为人工神经材料和设备的设计提供新的思路，可应用于生物电极、脑机接口、可穿戴电子设备和神经态计算机等领域。

相关链接：

[1] 刘遵峰课题组合作研究成果 Adv. Mater. : 受神经元启发的粘附性人造蛛丝[EB/OL].

(2023-06-21)[2023-11-20]. <https://chem.nankai.edu.cn/2023/0621/c24075a515190/page.htm>.

[2] Weiqiang Zhao, Fei Shao, Fuqin Sun et al. Neuron-Inspired Sticky Artificial Spider Silk for Signal Transmission [J/OL]. Advanced Materials. (2023-06-16)[2023-11-20].

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/adma.202300876>.

仿生人造蜘蛛丝光催化剂

生物气溶胶是人类呼吸道疾病的元凶之一。人们 80%的时间是在室内环境中度过，在潮湿的室内环境中，长期悬浮并保持活性的生物气溶胶可能引发人类疾病和影响人体健康。传统的生物气溶胶控制技术，例如空间消杀和过滤等方法，具有占用空间、产生毒副产物、高能耗和易堵塞等缺点。因此，开发高效捕获和原位灭活生物气溶胶的技术并明晰其作用机理具有非常重要的科学意义。

在国家自然科学基金项目的资助下，广东工业大学安太成和李桂英科研团队设计一种由尼龙纤维上的 TiO_2 周期性纺锤结构组成的仿生人造蜘蛛丝（ASS）光催化剂，并在其捕获与杀灭生物气溶胶的机理研究方面取得新进展。

该研究团队设计一种仿生人造蜘蛛丝光催化剂，基于蜘蛛丝捕获空气中的微尘并将雾气凝聚成微小液滴的特性，制备一种具有周期性纺锤结构的亲水仿生人造蜘蛛丝光催化剂，并利用其亲水性、生物亲和性和表面粗糙度差异等特性引起的表面能梯度和纺锤结构几何形貌形成的拉普拉斯压差协同作用，主动捕获并富集浓缩室内生物气溶胶于仿生人造蜘蛛丝光催化剂表面，在催化剂界面上形成液滴光催化微反应器，并利用固液界面光照产生的高效自由基实现原位对吸附捕集的生物气溶胶连续高效光催化灭活。此外，通过多种原位表征技术和现代分析手段，探讨仿生功能材料的结构性能特征、生物气溶胶特性及环境条件如流速和湿度等对其捕获和灭活效率的影响，揭示该仿生人造蜘蛛丝光催化剂与生物气溶胶的捕获、灭活效率间的构效关系，阐明其捕获与原位杀灭生物气溶胶的机制。

研究发现，ASS 光催化剂表现出比尼龙纤维基材更高的捕获能力，并且在 4 小时照射下获得 99.99% 的光催化失活效率。研究人员认为，ASS 光催化剂的捕获能力主要归因于亲水性、纺锤节尺寸引起的拉普拉斯压力差和表面粗糙度引起的表面能梯度的协同效应。ASS 光催化剂捕获的细菌通过液滴内或空气/光催化剂界面处的光催化作用而失活。这一策略为构建生物气溶胶净化材料铺平道路。

相关研究结果以“用于高效捕获和灭活细菌气溶胶的仿生人造蜘蛛丝光催化剂 (Bioinspired artificial spider silk photocatalyst for the high-efficiency capture and inactivation of bacteria aerosols)”为题，于 2023 年 4 月在线发表在《自然·通讯》(Nature Communications)。

相关链接：

[1] 我国学者在生物气溶胶的高效捕获与光催化杀灭研究方面取得新进展[EB/OL]. (2023-05-31)[2023-11-21]. <https://www.nsf.gov.cn/publish/portal0/tab434/info89435.htm>.

[2] Linghui Peng, Haiyu Wang, Guiying Li et al. Bioinspired artificial spider silk photocatalyst for the high-efficiency capture and inactivation of bacteria aerosols [J/OL]. Nature Communications. (2023-04-27)[2023-11-21]. <https://www.nature.com/articles/s41467-023-38194-1>.



地址：上海市永福路 265 号
邮编：200031
编辑：吴春莹
责编：崔晓文
编审：林鹤
电话：021-64455555
邮件：istis@libnet.sh.cn
网址：www.istis.sh.cn