****

**木质纤维生物质结构解译与多级联产工程化应用**

孙润仓

大连工业大学

木质纤维生物质转化与利用是实现“双碳”战略目标及国家可持续发展非常重要的途径之一，将我国农林废弃生物质转化成功能材料、能源或化学品，每年可减少CO2排放量约20亿吨。本团队在揭示木质纤维生物质三大组分纤维素、半纤维素及木质素微区分布及结构特征的基础上，实現了三大组分清洁分离，重点致力基于水热预处理和稀碱后处理结合的生物质精炼技术及工程化应用，在山东龙力生物技术有限公司于2011年实现产业化，年处理20万吨玉米芯生产高纯度低聚木糖、木糖醇、阿拉伯糖、高品质木质素及生物乙醇。制备的低聚糖具有良好的生物特性，能极大地调节和改善肠道功能，用以生产功能食品和药物。同时采用碱性活化技术及木质素自胶合特性，以高纯木质素为原料生产木质素环保胶粘剂，年产量达6万吨，用于生产系列无醛人造板产品，并已成功在在全国家具、地板及房地产龙头企业如大自然、索菲亚、好莱客、欧派、圣象等应用，产品获国家无醛认证及美国无醛豁免认证。同时，以高纯木质素为原料，本团队和济宁明升新材料有限公司共同研发出木质素高取代PBAT可降解垃圾袋、农用地膜及垃圾填埋膜，实现了产业化生产，已在浙江等多个省份应用，实现了绿色循环经济和大健康产业的有机结合，从而有利于支撑我国经济社会可持续健康发展。

**“大分子-单体对”法制备生物大分子纳米微粒**

蒋锡群

南京大学化学化工学院

本文将重点报告我们在生物大分子纳米微粒及生物大分子/无机杂化纳米生物材料的制备、细胞显像和治疗等方面的研究进展。通过我们发展的大分子/单体对方法，制备了表面含有正电荷的壳聚糖/聚丙烯酸纳米空心球、表面含有负电荷的海藻酸/聚甲基丙烯酸乙胺酯纳米微球、表面不含电荷的纤维素纳米微粒和一系列的蛋白大分子纳米微粒，并在此基础上利用这些纳米微粒表面和内部的化学基团通过表面化学和核内化学的方法将无机纳米微粒与高分子纳米微球复合制备高分子/无机复合纳米微球。所得的复合微球具有良好的生物相容性，并且在细胞显微成像上得到初步应用。通过将抗肿瘤药物负载于这些生物大分子纳米微粒中，构建了集药物输送、细胞造影及药物治疗于一体的多功能纳米诊疗系统。

参考文献：

[1] Hu, Y; Jiang, XQ; Ding, Y; Chen, Q; Yang, CZ , Advanced Materials, 2004, 16 (11): 933-937.

[2] Ding Y, Hu Y, Jiang XQ, Zhang LY, Yang, CZ, Angew. Chem. Int. Ed., 2004, 43 (46): 6369-6372

[3] Guo Rui, Zhang Leyang, Jiang Zhiping, Cao Yi, Ding Yin; Jiang Xiqun, 2007, Biomacromolecules, 2007, 8 (3): 843-850

[4] Ying Chen, Hanqing Qian, Xianchuang Zheng, Xiqun Jiang, Hyuk Yu, and Leyang Zhang, Soft Matter, 2011, 7, 5519.

[5] Qian Xiaoping, Ge lei, Yuan Kejun, Li Cheng, Zhen Xu, Cai Weibo, Cheng Rongshi, Jiang Xiqun, Theranostics 2019, 9 (24), 7417

[6] Qian Xiaoping, Shen Tinghui, Zhang Xiaoke, Wang Chongzhi, Cai Weibo, Cheng Rongshi, Jiang Xiqun, Biomaterials science, 2020, 8(14), 3907-3915.

关键字 大分子-单体对，生物大分子纳米微粒，药物传递

**聚离子液体凝胶**

严锋

苏州大学

聚离子液体是指由离子液体单体聚合生成的，在重复单元上具有阴、阳离子基团的一类离子聚合物，兼具离子液体和高分子聚合物的优良性能。由于聚离子液体同时具备离子液体与聚合物的优点，并且克服了离子液体的流动性，因而近年来得到大家的关注。本报告将介绍(聚)离子液体凝胶的分子设计与合成方法，及其在可穿戴器件、能源器件等领域的应用。

**均相生物炼制平台：从离子液体到CO2基溶剂**[[1]](#footnote-0)

谢海波\*

贵州大学 材料与冶金学院高分子材料与工程系，贵阳 550025

Email: hbxie@gzu.edu.cn

我国生物质资源丰富，以生物质资源部分化石资源制备化学品、能源与材料是实现绿色发展、双碳目标的重要手段。（木质）纤维素、甲壳素/壳聚糖、蚕丝与羊毛角蛋白等天然高分子是典型的生物质资源，由于其特殊的分子结构特征导致其分子链内部与分子链之间具有强而有序的氢键，从而很难被溶解，不能熔融加工。传统的非均相加工与转化往往存在效率低、选择性较差等缺点。因此，新型、绿色溶解加工及均相转化技术的发展一直备受关注。报告将系统介绍团队在基于“非共价键诱导的氢键网络重构理论”和“温和可逆反应诱导的氢键网络重构理论”发展的基于离子液体、生物基绿色离子液体电解质、CO2基溶剂体系的均相生物炼制平台，及基于平台通过绿色化学技术及过程耦合实现生物质到生物基能源、化学品及生物基高分子材料的绿色转化。

关键词：（木质）纤维素；羊毛角蛋白；蚕丝蛋白；甲壳素/壳聚糖；离子液体；CO2可逆反应；绿色催化

**从天然高分子到生物基功能材料**

黄勇

中国科学院理化技术研究所

无论从资源合环境考虑，生物质资源开发利用已成为研究热点。在过去三十年，利用生物质天然有机资源制备生物基功能材料，包括纳米纤维素材料成为材料领域国内外研究的热点之一。本报告总结了本课题组在过去二十多年，制备刺激相应纤维素（衍生物）接枝共聚物及其自组装方面的进展；提出了一种纤维素纳米材料可控制备的新方法，即通过助剂的极性（或亲疏水性），可控制备不同维度的纤维素纳米材料。讨论了农业废弃秸秆纳米化的新方法，通过调节工艺条件，可以改变微纳米秸秆材料中纤维素、木质素和半纤维素的组成，通过改变木质素含量，利用木质素中芳香环具有较高的热稳定性，调控微纳米纤维的表面极性和热稳定性等。最后讨论的纳米纤维素以及微纳米秸秆材料在环保材料和包装材料领域的应用。如将纳米纤维素加入到纸张中,可以有效提高纸张的强度，利用疏水纤维素纳米材料表面改性，可以得到防水的纸基包装材料，在禁用一次性塑料制品的潮流中，实现“以纸代塑”。

**纤维素纳米/亚纳米材料的构建与应用**

王莎，郭家奇，宋君龙，杨益琴，刘玉乾，金永灿\*

南京林业大学轻工与食品学院，江苏省林业资源高效加工利用协同创新中心，南京 210037

[\*jinyongcan@njfu.edu.cn](mailto:*jinyongcan@njfu.edu.cn)

纳米纤维素是纤维素纤维经化学、物理、生物或几者相结合的方法处理得到的纳米尺度的产物，具有高机械性能、高比表面积、高亲水性、高结晶度、良好的生物可降解性与生物相容性以及稳定的化学性质。纳米纤维素表面具有大量羟基，为其通过化学改性实现材料的功能化创造了良好的条件。本文总结了纳米纤维素通过复合、组装、剥离、改性等手段制备纤维素基纳米流体膜材料、纤维素光子晶体结构材料、纤维素亚纳米丝带材料、纤维素基生物荧光探针材料，赋予纤维素材料多种优良的特异功能，应用于能源、材料、制药、食品、环境等多个领域。

关键词：纤维素；纳米流体膜；手性向列结构；纤维素亚纳米丝带；荧光探针

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

8

**纤维素基复合吸附材料用于高效海水提锂**

梁大鑫、王文轩、谢延军

东北林业大学

海水拥有最丰富的锂资源（约2.3×1011 t），但是从海水中直接提锂难度很大，因为其中锂离子浓度仅有0.1-0.2 ppm[1]。因此迫切需要一种可行技术来从海水中高效的提取锂，以满足工业生产需求。本研究以α-纤维素为基体，无机颗粒H2TiO3（HTO）为功能体，采用1-丁基-3-甲基咪唑氯盐（BmimCl）为溶剂，通过凝固-冷冻干燥的方法，制备了3-D交联的再生网络纤维素复合气凝胶。HTO/纤维素气凝胶的最大Li+吸附容量为28.61 mg g-1。Li+在HTO/纤维素气凝胶上的吸附速率（17.38×10-4 g mg-1 min-1）是纯HTO颗粒（3.517×10-4 g mg-1 min-1）吸附速率的4.91倍，这归因于3-D交联网络的特性和纤维素气凝胶的亲水性。此外，在竞争吸附和海水吸附实验中，该复合气凝胶对Li+展现出高的选择性相比与其他金属阳离子，如Mg2+，Ca2+，K+，Na+等。再生循环5次后，复合气凝胶对Li+的吸附容量仍能保持在80%以上。此外，即使Li+浓度实际上处于ppb水平，HTO/纤维素气凝胶对海水中的Li+也具有出色的吸附效率（69.93%）。

关键字 锂吸附；纤维素；气凝胶；高效；高选择性

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

10

**高生物质含量谷壳粉-PBAT复合材料结构和性能的探究**

姜思珂1、翁方青2、伍强贤1

1. 华中师范大学

2. 湖北第二师范学院

稻壳富含纤维素、木质素，在当前碳达峰与碳中和背景下，充分利用这种生物质原材料，对实现绿色低碳具有重要意义 [1]。本文以谷壳粉（RH）为填料，可生物降解的PBAT聚酯为基体，聚氨酯预聚体作为界面增容剂，制备了界面相容性良好的高生物质含量RH-PBAT复合材料。利用红外光谱、扫描电子显微镜、电子万能试验机和热失重分析仪分别对所得复合材料的结构、微观结构以及力学性能和热稳定性等进行表征分析。结果表明谷壳粉含量从50%增加到80%过程中，所得复合材料的抗拉强度依然能得到保持，且弹性模量也呈现递增趋势；另外，由于聚氨酯预聚体作为增容剂，复合材料的界面相容性也比未添加增容剂的材料效果更好[2]。

关键字 谷壳，PBAT，复合材料，界面

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

17

**竹源纤维素材料的开发与应用**

李星星、徐鼎峰、林兴焕、李鸣、王君玫、李亿保

赣南师范大学

当前，以来源于动植物的天然高分子构建可降解的高分子材料和制品，不仅有利于缓解塑料污染问题，而且符合绿色发展和“双碳”国家战略[1]。竹子是一种富含纤维素的速生植物资源，具有生长快、培育周期短和固碳能力强的特点[2]。中国是竹资源储量最丰富的国家，竹林种植面积600万hm2，占世界竹林面积1/4以上，素有“竹子王国”的美誉，江西省的竹资源总量居全国第二。2022年，习近平总书记在金砖国家领导人第十四次会晤和第二届世界竹藤大会上，前后两次向全球发起“以竹代塑”倡议，减少塑料污染，应对气候变化[3]。将丰富的竹资源转化为绿色、可降解的生物基材料不仅为“禁塑”攻坚战找到新突破口，而且为实现“以竹代塑”引领全球竹产业高质量发展提供新方案。

本团队重点围绕竹溶解浆的开发与绿色溶解技术、连续成膜技术、湿法纺丝技术、竹基功能材料研发进行攻关。建立竹子化学成分及其结构与生长周期的数据库，为竹源纤维素新材料的开发与加工提供重要指导；开发竹子制浆新技术和天然多孔的木质纤维素微胶囊，将杂细胞变废为宝，提高竹子的综合利用率[4,5]；基于低温尿素法溶解技术，开发专用竹溶解浆及标准体系，形成绿色溶解、纺丝[6]、制膜和“零排放”水处理的集成技术与工艺。“以竹代塑”引领绿色发展，推进在纺织服装、包装、食品和生物医用等领域的应用，畅通竹产业上下游产业链，助力乡村振兴和“双碳”战略。

关键字 竹材；竹溶解浆；纤维素；碱/尿素体系；再生纤维素材料

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

22

**基于CMC/PEDOT: PSS膜电极的可弯曲、可折叠和高电化学性能的非对称超级电容器**

徐汉枰、金小娟

北京林业大学

随着对可穿戴电子设备要求的不断提高，可弯曲和可折叠超级电容器的开发变得至关重要。然而，设计具有柔韧性和高导电性的独立电极仍然具有挑战性。本研究以羧甲基纤维素（CMC）为粘合基质，聚（3，4-乙烯二氧噻吩）：聚苯乙烯磺酸盐（PEDOT:PSS）为活性材料，首先采用简单的原位聚合和真空过滤工艺合成了具有交联网状结构的柔性CMC/PEDOT: PSS膜。之后，用二甲基亚砜（DMSO）进一步处理杂化膜以去除过量的PSS，从而增强其电化学性能。结果表明，性能最佳的杂化薄膜具有良好的力学性能（拉伸强度为48.1 MPa）和高导电性（45.1 S cm-1）。组装好的非对称超级电容器在750 μW cm-2的功率密度下能够提供181.9 μW h cm-2的能量密度。即使在10，000次GCD循环后仍保持93.4%的初始电容和100%的库仑效率，表现出出色的循环稳定性。此外，在弯曲和折叠状态下电化学性能保持良好。因此，兼具柔韧性和高电化学性能的杂化膜电极在可穿戴电子领域拥有巨大的应用潜力。

关键字 羧甲基纤维素；聚（3，4-乙烯二氧噻吩）；聚苯乙烯磺酸盐；二甲基亚砜；非对称超级电容器

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

26

**中空纤维素基微球包覆疏水染料制备荧光可调耐水柔性膜**

姚一军、付岽、薛囝囡、薛颖、沈艳琴、武海良

西安工程大学

本文利用蛋白质结构在碱性条件下产生羧基负离子（-COO-）特性，将明胶蛋白质引入到纤维素结构进行离子化，然后将不同碳链长度烷基链键接到其结构结合自组装制备了中空纤维素基微球。进一步将疏水荧光染料异硫氰酸荧光素（FITC）包覆到中空纤维素基微球空腔获得一系列荧光可调柔性高分子荧光膜。Raman为明胶肽链和烷基链与纤维素键合提供证据。TEM和SEM证实具有中空结构纤维素基微球的形成。DLS、AFM、UV-Vis为FITC在中空纤维素基微球的封装提供依据。通过调节烷基链长度和取代度获得了粒径可控纤维素基荧光微球复合膜；得益于纤维素基高分子链“锚定”、“稀释”效应、阴离子静电排斥以及中空结构，协同抑制了FITC发光体的聚集荧光猝灭，不同包覆量的荧光膜在365nm紫外光刺激下均显示出绿色荧光且荧光强度可调。与现有纤维素基荧光膜相比，中空荧光膜具有更高的耐环境稳定性。本研究为制备以生物质为基材的织物荧光涂层材料、发光器件、智能标签、防伪材料提供新途径。

关键字 纤维素，荧光，微球

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

28

**纳米纤维素基超疏水光热防冰/除冰环保涂层的制备及防冰性研究**

朱龙行、王超、吴敏

中国科学院理化技术研究所

结冰是自然界中常见的现象，然而飞机、电线、路面等表面积冰会造成严重财产损失甚至是生命危害。现有的电热、化学和机械等除冰方法设备造价贵，能源消耗大，环境不友好，而基于光热材料将光线转化为热量的光热除冰无疑最为经济环保。近来发展的能够抑制结冰、降低冰粘附力的新型抗冰表面对环保、高效及持续防冰具有重要意义。然而，防冰表面最终也会结冰失效。因此，兼具防冰除冰的复合抗冰表面是未来发展的重要方向。对此，本文采用来源广泛，可生物降解，易于构筑超疏水表面的纳米纤维素作为防冰表面的基体，将同样具有生物安全性的聚合物光热材料通过原位氧化聚合在水中与其复合，并在乙醇/水溶剂中进行低表面能接枝改性，成功制备了超疏水光热抗冰/除冰环保涂层。所得涂层具有优异的超疏水性（接触角164.9°，滚动角7°）、光线吸收能力和光热转化能力。在一个太阳强度照射下，1min内能够快速升温至41.7℃，最终平衡温度达62.1℃。

关键字 纳米纤维素，超疏水，光热，防冰，除冰

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

33

**高强度再生纤维素基功能材料的构建**

邵晓宇、刘云翠、涂虎

武汉纺织大学

面对不可生物降解石油基塑料造成的污染问题及石油、煤炭等不可再生资源的日益枯竭，研究、开发和利用可再生、环境友好型生物质得到越来越多地关注。纤维素作为自然界中储量最为丰富的天然聚多糖，具有来源广、可再生、可生物降解、安全无毒等优点，可作为制备多功能材料的理想原料。目前纤维素的开发利用主要包含两种方式：一种是“自上而下”策略，即对其直接利用或采用纳米技术制备纳米纤维和纳米晶须等加以利用；另一种是“自下而上”策略，即将其溶解再生用于制备不同形态的功能材料，如膜、水凝胶、丝、微球等。但纤维素具有复杂的多级结构以及分子内和分子间存在大量氢键，难以溶解加工，这限制了其广泛应用。近年来，多种便捷、环境友好的“绿色”溶剂被开发用于纤维素和甲壳素的溶解和再生工艺，如氯化锂/N,N-二甲基乙酰胺（LiCl/DMAc）、离子液体、碱/尿素溶剂等。本论文利用“绿色”溶剂碱/尿素体系来溶解和再生制备性能优异的纤维素基功能材料，研究其结构与性能间的构效关系，并考察其在纺织、热管理、水污染处理和传感等诸多领域的应用前景。

关键字 纤维素；高强度；碱/尿素

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

39

**纳米纤维素晶体结构与力学性能的关系研究**

陈攀

北京理工大学

纳米纤维素是植物细胞壁的主要成分之一，其杨氏模量约为113~200 GPa，作为抗拉伸和压缩载体支撑起高度超100米的参天大树。一种普遍的解释认为：沿着纳米纤维素链方向的分子内氢键导致其模量在所有生物材料中最高。为验证这一假说，我建立氢键删除方法，选择性删除分子内和分子间氢键，构筑结构类似的天然纤维素氢键变体，使用基于密度泛函理论的能量应变法测算氢键和色散力对分子链刚性和弹性模量的贡献。研究发现：分子间氢键取消后，横切方向的纤维刚性大幅度降低(25~64%)，分子内和分子间氢键对纵向刚度的贡献是-2%~20%；而色散力取消后，横切方向纤维刚性降低20%或63%，纵向链刚性仅降低2%，但纵向模量降低17%。因此，纳米纤维素沿链的刚度由轴向共价键和大分子链的紧凑堆积引起的定向排列和限域共同导致，氢键对纤维素的力学性能与和色散力同等重要，不应过度夸大使用。该研究揭示了纤维素高模量的分子机理，为理解纤维素结构和力学性质关系提供了理论基础。

关键字 弹性模量 链刚度 氢键 色散力

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

44

**由纤维素和改性环糊精制成具有pH和温度响应性的全生物基伤口敷料凝胶**

张渝婷、高欣、张书美、胡秋月、李佳祺

昆明理工大学

纤维素水凝胶由于具有生物降解性和生物相容性等特点，被广泛应用于治疗伤口的愈合。遗憾的是，大多数传统的纤维素水凝胶对不断变化的伤口状况缺乏相应的反应机制，并且对活性物质的释放能力有限。因此，本研究提出了一种具有pH和温度响应纤维素水凝胶伤口敷料的制备方法。研究以竹子薄壁细胞纤维素为起始，同改性环糊精在DMAc/LiCl溶解体系中原位交联，构建了负载盐酸小檗碱（BBR） 的复合水凝胶。由于BBR的引入，纤维素水凝胶的抗菌能力得以增强，同时还保持了良好的生物相容性和药物释放能力。研究表明，双响应伤口敷料可根据伤口pH值和温度的变化调控伤口敷料的药物释放速率，在偏碱性pH（7.6）和较高温度（40 ℃）下能显著促进药物释放（>70%）。创面愈合实验表明，该水凝胶具有较好促进伤口愈合的能力，12天内创面愈合面积可达80%；而对照组和未负载药物水凝胶组的愈合面积只有50%和70%。该纤维素/环糊精复合水凝胶通过对创伤面应激特性的响应来调控药物的释放，促进组织再生并加快感染创面愈合，有望为开发多功能复合水凝胶提供理论参考和数据支撑。

关键字 再生纤维素，环糊精，伤口敷料

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

48

**纤维素在新型季铵盐溶剂中的溶解机理**

吴经纬、康宏亮、刘瑞刚

中国科学院化学研究所

纤维素是一种来源广泛、可再生、可生物降解且具有良好生物相容性的天然高分子材料，但由于其结构中复杂的氢键网络，导致其难熔融、难溶解，严重阻碍了纤维素材料的加工应用，因而发展新型的纤维素高效、绿色加工工艺已成为当下研究的热点，并已取得一定成果。最近发现一种新型季铵盐溶剂——四丁基磷酸氢二铵/二甲基亚砜（TBA2HPO4/DMSO）混合溶剂。该溶剂具有使用温度低、溶解速度快、溶解性好、弱碱性、低腐蚀性、可回收等优点。不同聚合度（DP=200~2000）的纤维素在溶剂中均可在5分钟内实现溶解，最高溶解度可达14.5wt.%。根据纤维素溶液的低场核磁弛豫时间分布以及相关核磁谱图，可得到纤维素在该溶剂中的溶解机理——阴阳离子对在DMSO中发生溶剂化，形成自由离子，阴离子与纤维素链上的羟基形成氢键、阳离子分布在纤维素链外层，阻碍分子链的重新聚集。

关键字 纤维素、新型溶剂、溶解机理

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

57

**纤维素纳米纤维/MXene纳米复合膜的制备与性能研究**

黄煜佳、王金华、朱文俞、戴航宇、贺盟

盐城工学院

MXene是具有高比表面积和高电导率特点的二维材料，然而纯MXene材料在柔韧性、力学强度等方面存在明显不足，单独使用难以满足当前应用要求[1]。制得庆幸的是，分层的Ti3C2Tx  MXene（d-Ti3C2Tx）表面具有大量活性端基，可与纤维素等聚合物产生强氢键相互作用，进而能提高其性能[2]。通过对竹纤维进行TEMPO氧化制得了具有一维纳米结构纳米纤维素纤维（CNFs），其长度达数微米，具有高力学强度和柔韧性。同时，利用LiF和HCl刻蚀MAX相成功制备出尺寸为数微米的d-Ti3C2Tx。常规的MXene复合膜等材料的制备需要借助真空抽滤装置或3D打印机等，这在一定程度上限制了MXexe材料的制备与应用。为解决上述问题，我们尝试通过利用简便的溶剂挥发诱导成膜法成功制备出高强度和柔韧的CNFs/MXene纳米复合膜，系统研究温度、MXene含量和增塑剂含量等条件对复合膜结构与性能的影响，该纳米复合膜展现出优异的综合性能，在超级电容器和电磁屏蔽等领域具有潜在应用前景。

关键字 纤维素纳米纤维, MXene, 纳米复合膜，力学性能

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

66

**偕胺肟纤维素/纳米银复合材料的制备及抗菌性能**

张婷婷、康宏亮、刘瑞刚

中国科学院化学研究所

随着生活水平不断提高，人们对抗菌材料的需求愈发迫切。银系抗菌剂是应用最广泛的一类无机抗菌剂，其抗菌能力强、抗菌范围广，安全性高，但其制造工艺复杂，生产困难，在实际应用中仍具有限制性。纤维素作为一种可再生资源，具有储量大，易于改性，绿色环保等优点。本文利用偕胺肟纤维素[1]原位还原并稳定纳米银，制备出一种绿色环保且价廉的抗菌剂，并成功应用到棉织物上，抗菌性优异，如表1所示。由于偕胺肟纤维素含有丰富的氨基和羟基，能够增强银纳米粒子的分散与稳定，且增加了同织物之间的相互作用，使其抗菌性更加持久，如表1中所示经20或30次水洗后依然具有良好的抗菌效果。本文所述方法环境友好、操作简单、成本低，能广泛应用于棉、涤纶、尼龙等织物的抗菌后整理。

关键字 偕胺肟纤维素 纳米银 抗菌织物

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

73

**羧基化纤维素微球的制备及其口服胰岛素的控制释放**

罗晓刚、龚雅琪、吴锶美

武汉工程大学

胰岛素是一种蛋白质激素，直接口服很容易被肠道酶和胃酸分解失去效果。此外，胰岛素的吸收需要在它进入肠道后便被迅速吸收到血液中，否则它将无法发挥作用。研究人员一直在寻找一种能够有效吸收胰岛素的口服方法。通过使用载体来实现胰岛素的口服给药，载体的主要作用是保护胰岛素免受肠道酶和胃酸的影响，以便胰岛素能够被有效地吸收到肠道中，进而进入血液循环系统。纤维素微球(CMs)可以作为胰岛素口服给药载体。采用柠檬酸/盐酸水解法制备的pH响应性羧基化纤维素微球(CCMs)，通过绿色途径提高口服胰岛素的生物利用度。胰岛素通过静电作用负载到CCMs中，胰岛素的释放通过羧基的电离和质子化平衡控制。体外释放研究表明，在人工胃液（AGF）和人工肠液（AIF），胰岛素的释放量分别为48.87%和85.12% ( Figure 1)。所设计的CCMs在药物口服传递领域具有很大的潜力。

关键字 胰岛素载体；口服胰岛素，羧基化纤维素微球；pH-敏感性；控制释放

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

75

**纤维素基高效散射柔性薄膜**

王溢丰、王婷、杨晗

中国科学院大学

实现对光的高效散射往往需要使用高折射率的二氧化钛等无机材料，这些物质被广泛运用于涂料、护肤品、甚至一些食品中来产生明亮的白色[1]，然而二氧化钛这类物质的生产不仅会造成较为严重的环境污染，而且对人体具有潜在的致癌风险。纤维素是地球上含量最为丰富的天然高分子，具有可再生、能被生物降解和生物相容性好等诸多优点[2]。本研究通过模拟自然界中白斑奇天牛鳞片的微观结构，利用纤维素纳米纤维相互缠绕形成的网络结构来分散与固定散射中心，即纤维素衍生物微球，并优化这些微球的粒径与分布，实现了用低折射率的纤维素基材料来制备自支撑的高效散射薄膜。该薄膜的厚度仅为10 µm时反射率就能高达70%，并且薄膜可折叠、具有良好的柔韧性。利用生物质材料特别是纤维素来构建厚度更薄的高效散射材料，不仅能减少材料用量、降低成本，而且对环境和人体更加友好，有助于实现应用于护肤品、食品、药品等产品中的环保涂层材料的规模化生产。

关键字 纤维素，光散射，纤维素纳米纤维，仿生材料

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

76

**纳米纤维基原位水凝胶的制备及其药物缓释性能**

陆勤1,2、何辉1,2

1. 广西大学轻工与食品工程学院

2. 广西清洁化制浆造纸与污染控制重点实验室

皮肤肿瘤术后伤口因其皮肤缺损较大且不规则，易感染细菌和形成细菌生物膜，且残余的肿瘤细胞存在复发风险，伤口难以愈合。因此，开发一种具有抗菌、抗生物膜定殖和抗肿瘤的高生物相容性原位水凝胶伤口敷料对于皮肤肿瘤术后伤口的治疗具有重要意义。本研究以纤维素纳米纤维（CNF）为基体，通过在其表面接枝具有pH响应性和近红外（NIR）光热转换性能的功能基团，分别制备了具备pH响应性的纳米纤维和NIR响应性的纳米纤维，再进一步与温敏性聚合物聚N-异丙基丙烯酰胺（PNIPAM）构建纳米纤维基原位水凝胶，受到人体温度（37℃）的刺激，在伤口处原位形成水凝胶，以适应伤口形状。同时，纤维交织形成的纳米空腔可赋予该水凝胶较高的载药量（DOX（400 mg/g）、ICG（1 mg/g）），并可通过NIR的刺激实现可控药物的控释。此外，该原位水凝胶可以通过光热、光动力和化疗的协同治疗有效针对创面的耐药细菌感染、生物膜定殖及残余的肿瘤细胞，应用于皮肤肿瘤术后不规则伤口的治疗。

关键字 纤维素纳米纤丝 水凝胶 伤口敷料 药物缓释 光热转化

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

77

**硒代纤维素纳米晶基催化剂的制备与应用研究**

谢珍1,2、陈日梅1,2、何辉1,2

1. 广西大学轻工与食品工程学院

2. 广西清洁化制浆造纸与污染控制重点实验室

NO作为活性氧，具有诸多重要的生物学功能，其中，作为抗菌的化学动力治疗存在广阔的应用前景。而有机硒可催化内源性NO前体（如S-亚硝基谷胱甘肽，GSNO）产生NO，但其水分散性较差，且在体内存在血液及肾脏清除速率过快的问题，难以持续催化产生NO。因此，通过化学接枝将有机硒固定在材料上，降低生物体对有机硒生物代谢以实现持续长期催化释放NO具有重要的生物学意义。本研究以纤维素纳米晶（CNC）为基体，通过将有机硒接枝在CNC表面，制备可持续催化GSNO产生NO的硒代纤维素纳米晶基催化剂，通过氢键与F127自组装，并通过负载聚多巴胺，构建了一种具有催化内源性NO释放的CNC基原位水凝胶。该水凝胶可以在体外持续且高效催化GSNO产生NO，且1 h内GSNO的降解率为64.00%。此外，该水凝胶在近红外激光照射下可快速升温到45℃，可与NO实现PTT与CDT联合的抗菌效应，其抗菌率达到99%以上，表明该水凝胶可有效用于抗菌抗感染的治疗。

关键字 一氧化氮；纤维素纳米晶；光热治疗；抗菌

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

79

**纤维素接枝共聚物用于葡萄糖半透膜的研究**

胡倩语

中国科学院化学研究所

随着生活水平的提高，糖尿病患病人数不断增加，糖尿病引发严重的并发症。葡萄糖传感器操作简单、灵敏度高，实时检测血糖浓度，预防发生并发症，传感器涂覆葡萄糖透过膜，消除其它物质的影响。纤维素及其衍生物具有生物相容性、可降解等优点，是人们关注的重点，目前已有研究将纤维素基膜作为半透膜，仍需对其进行改性提高灵敏度和稳定性。我们课题组利用羟丙基纤维素（HPC）作为基材，对其进行与4-乙烯基吡啶（4VP）的接枝共聚，获得HPC-g-4VP，之后将HPC-g-4VP进行磺酸化，交联成膜，获得具有磺酸基团离子通道的葡萄糖半透膜，通过调控磺酸化的不同程度以及交联剂的添加量，研究半透膜的灵敏度，并测试半透膜的亲疏水性及稳定性。

关键字 羟丙基纤维素，4-乙烯基吡啶，自由基聚合

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

81

**天然高分子多功能复合水凝胶**

姚雪、张凤娇、景小凯、张素风

陕西科技大学

近年来，可穿戴柔性电子设备快速发展，在运动监测、医疗康复和软体机器人等领域具有潜在的应用前景。可拉伸离子导电水凝胶以其优异的柔韧性、高弹性、透明性、机械性能可调性被认为是理想的柔性传感器选择之一[1]。然而，通过简单一步法构筑兼具优异机械性能、高离子导电率、自修复、自粘附和保水性好的离子导电水凝胶仍然是一个挑战[2]。有鉴于此，通过设计一种多功能性苯硼酸离子液体（PBA-IL）单体，在纳米纤维素（CNF）存在下，通过PBA-IL/丙烯酰胺（AM）一步聚合法，制备了一种具有半互穿网络结构的离子导电水凝胶（PAM/PBA-IL/CNF），该离子导电水凝胶能同时实现优异机械性、导电性和多功能性的集成。

关键字 纤维素基材料，天然高分子，多功能导电水凝胶，柔性传感

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

82

**纤维素组份原位酯化衍生化制备秸秆生物质泡沫材料**

姜曼、潘宇、周昱帆、徐汪杰、杜小庆

西南交通大学 化学学院 材料先进技术教育部重点实验室

在玉米秸秆天然类泡沫结构的启发下，本工作以玉米秸秆为原料通过溶解-再生的简便工艺制备得到具有良好力学性能的生物质泡沫材料。通过蒸爆预处理后秸秆中的半纤维素组份得以充分脱除，同时得到富含木质素的微纤化秸秆纤维。对其进行原位酯化衍生化可有效降低纤维素分子结构的规整性，同时引入更多的交联活性位点，为构筑秸秆生物质泡沫的交联网络提供有利的结构基础。在原位酯化衍生化过程中，木质素也被证实发生酯化衍生化而进一步利于交联网络结构的构筑。以该酯化衍生化的蒸爆玉米秸秆为原料通过溶解-再生工艺所制备的生物质泡沫经分析具有83%的弹性回复性能，其弹性模量达20 kPa。进一步以六氯环三磷改性木质素衍生的阻燃剂（Lig-HCCP）对秸秆生物质泡沫材料进行表面改性后，其最低氧指数（LOI）为27.3%，达到阻燃要求。同时该生物质泡沫材料具备良好的隔热效果0.028 W/m·K。本研究所得的秸秆生物质泡沫具有替代石油基合成高分子泡沫材料，而在新型可降解包装材料领域广泛应该用的潜力。

关键字 生物质泡沫材料；玉米秸秆；酯化衍生化；隔热；阻燃

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

83

**纤维素基抗水材料的构筑及其涂层应用**

李楠、张素风、刘亚丽

陕西科技大学

纤维素基材料具有可生物降解、来源广泛及生物相容性良好的优良特性，被认为是石化塑料的最佳候选材料[1]。但是，纤维素多羟基结构的特性使得纤维素基材料在使用过程中抗水性和耐水性严重不足[2-3]。在这项工作中，展示了一种绿色、无催化剂的纤维素疏水改性方法。通过氨基化纤维素(Aminoated Cellulose)结构中氨基和油酸结构中羧基进行表面取代反应，以制备高疏水性酰胺化纤维素(Amidated Cellulose)。其中油酸的不饱和脂肪酸尾部在酰胺化纤维素膜中提供疏水屏障。所得的酰胺化纤维素膜表面水接触角达133°，并在110°以上保持至少一个小时。将所获得的酰胺化纤维素悬浮液通过浸渍方法应用于旧瓦楞纸箱的再生纸表面，以研究浸渍后再生纸的疏水性能。结果表明，酰胺化纤维素提高了旧瓦楞再生纸的疏水性，其水接触角达132°。酰胺化纤维素悬浮液对旧瓦楞纸拉伸强度的提高率达1513%（11.74Mpa增加至189.05MPa）。综上所述，酰胺化纤维素膜具有优异的疏水性和改善其他材料表面疏水性的潜力，适用于可生物降解材料的发展。

关键字 纤维素，抗水性，油酸，酰胺化改性

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

86

**超疏水/超亲油性竹纤维素泡沫的制备及其油水分离性能研究**

赵双

赣南师范大学

水是地球生物以及人类生存的重要之源，但石油泄漏、工业和生活油污排放引起的
水污染已成为亟待解决环境问题 [1,2]。目前，诸多仿生超浸润材料被制备并应用于油/水
分离领域，但制造成本以及二次污染环境问题限制其规模化应用。在此，本课题组提出
一种简单、环境策略构筑具有三维网络结构和特殊润湿特性的竹纤维素泡沫。该泡沫具
有超疏水性和超亲油的特性，水的接触角高达 160°。竹纤维素泡沫对多种油水混合溶液
展现出优异的吸油性(11.5 g/g~37.5 g/g)和良好的循环性，在循环 10 次后对油（1,2-二氯
乙烷）的吸附能力保持在 31.5 g/g。同时，制备的超疏水竹纤维泡沫还具有耐酸碱腐蚀、
耐高温等特性。最重要的是，制备的超疏水/超亲油的竹纤维泡沫具备可再生、可降解、
低成本、易改性的优点，在解决含油废水领域[3]有实际的应用潜力。

关键字 竹纤维素；纤维素泡沫；超疏水性/超亲油性；油水分离

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

88

**利用玉米秸秆部分溶解制备具有优良力学和抗菌性能的全纤维素复合材料**

李博文1,2、刘高喆1、唐晓宁1、张恒1、高欣1,2

1. 昆明理工大学化学工程学院，云南昆明650500

2. 中国科学院宁波材料技术与工程研究所中国科学院磁性材料与器件重点实验室，浙江宁波315201

全纤维素复合材料（ACC）是一种单聚合物复合材料。其基质和增强相都由均一物质组成，因此这类材料具有优异的力学性能。本研究通过采用低浓度ZnCl2溶剂(10 - 40%)处理农业废弃物玉米秸秆，采用部分溶解法（又称化学焊接法）直接制备ACC。溶剂进入纤维素纤维的微孔，促进纤维素网络中无序链的自由迁移，并未溶解纤维网络框架。然后，在脱除溶剂的过程中，这些无序链会重新凝固并相互缠绕，作为焊接层连接未溶解的纤维网络框架。这项研究制备的ACCs具有优异的力学性能(抗拉强度和杨氏模量分别为49.9 MPa和6.6 GPa)、抗菌性能（对于大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的对数杀灭率(LRV)分别为4.8和3.0）和可生物降解性能。ACCs中残留的Zn2+部分转化为纳米氧化锌（ZnO NPs），因此具备了优异的抗菌性能。经过5次循环处理后，杀灭率仍能保持在较高的LRV（2.0 ~ 3.8）。该研究提供了一条简便经济构建功能性全纤维素复合材料的途径。

关键字 玉米秸秆，全纤维素复合材料，部分溶解

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

91

**酶响应型中空纤维素基微球的制备及其负载杀虫剂的释放行为研究**

贺斌、常鹏兵、方一帆、成琳、王科尧、郑旭磊、朱兴

陕西科技大学

传统杀虫剂存在使用有毒溶剂、分散性差和粉尘飘散等缺点，导致大量杀虫剂在使用过程中无法对目标生物造成伤害，却对人体和环境都造成了严重的危害[1-2]。构建绿色环保的杀虫剂控释体系，是一种延长杀虫剂的保质期，提高杀虫剂的利用率，使杀虫剂在使用时更加安全的有效方法。天然聚合物能有效防止药物直接暴露在环境中而失去其有效成分，保留了药物的活性[3]。无机材料具有一定的比表面积，可以增加作为药物载体的负载能力[4-5]。本文首先在负载阿维菌素（Avermectin，AVM）的碳酸钙微球表面静电吸附聚电解质羧甲基纤维素，随后在其表面利用可见光引发接枝聚合，接枝交联聚合物层，最后除去碳酸钙后形成中空微球包覆药物（记为HGM-AVM）。当AVM的浓度为125 μg·mL-1时，微球负载量为104 mg·g-1。此体系浓度为60 mg L-1时，对目标昆虫的致死率为82%。该新型杀虫剂传递系统提高了对杀虫药物的负载量，并实现杀虫剂对目标昆虫（消化道内存在纤维素酶）的特异性选择。

关键字 纤维素基微球，酶响应，负载杀虫剂，释放行为，药物活性

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

92

**纤维素水溶液粘合剂用于天然高分子材料的二次成型**

王世豪、胡杨、吕昂

武汉大学

纤维素、甲壳素和壳聚糖等天然高分子材料作为可持续发展的理想“绿色”材料备受关注，但由于天然高分子链内与链间存在大量的氢键,使其难以熔融或溶解于常规溶剂，阻碍了其被进一步开发与利用。在本工作中以纤维素溶液为粘合剂，通过粘合、扩散、再生等二次成型工序，成功解决了天然高分子材料成型工序复杂、再生后难以加工、成品率低等问题,实现了多维度、任意形状的天然高分子材料的制备。

关键字 纤维素，纤维素粘合剂，二次成型

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

99

**抗菌纤维素基塑料的制备及其结构和性能**

梁品

赣南师范大学

目前，塑料使用的原料主要来源于石油基资源，不仅加快了石油基资源的枯竭，而且使用后会造成严重的环境污染[1]。纤维素因其来源广、无污染、易降解等优点在替代石油基资源方面受到广泛关注[2]。然而，纤维素本身不具备抗菌性能，在潮湿环境下很容易滋生各种细菌，值得注意的是，ZnO具有优异的抗菌性能、光催化性能等优点，它已被美国食品和药物管理局列为公认安全(GRAS)物质[3]，基于此，本工作以NaOH/ZnO水溶液在低温下，以一种简单、绿色工艺溶解纤维素氨基甲酸酯，然后制备具有优异抗菌性能的纤维素/ZnO生物塑料[4, 5]。采用SEM、UV-Vis、TEM、CA、拉力机以及抗菌活性测试等方法对生物塑料进行了表征，结果表明，ZnO颗粒均匀分散在生物塑料中，对生物塑料的力学性能、亲疏水性、水和氧气的渗透性能有显著的影响。更重要的是，ZnO还赋予生物塑料优异的抗菌性(金黄色葡萄球菌和大肠杆菌)。

关键字 纤维素，ZnO ,生物塑料，抗菌

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

102

**纤维素负载Cu2O/TiO2催化材料应用于水相不对称硼加成反应**

张瑶瑶、郭海峰、付承鹏、黄鑫阳、冯奕、屈隆艳、刘义华、张琳、杨文杰、朱磊

湖北工程学院

含有功能硼基团的药物较多，如塔拉博司他、硼替佐米、德兰佐米等，因此，有机硼化合物在药学和合成化学中都具有重要意义。生成的碳硼键可以通过多种反应，如Suzuki-Miyaura交叉偶联1,2迁移、Petasis反应、烯丙基硼化反应和氧化反应，很容易转化为C-O、C-N和C-C键。近年来，双(pinacolato)二硼(B2(pin)2)催化硼化α，β-不饱和受体被证明是获得有机硼化合物的有效和直接途径。本工作以纤维素为载体，采用还原法制备得到纤维素负载异质结Cu2O/TiO2催化材料，系统考察了金属含量对催化材料形貌和结构的影响。采用FT-IR、XRD、SEM、TEM等表征对所制备的材料进行表征，并采用元素分析得到元素含量。随后，将所得催化材料应用到α，β-不饱和化合物的手性硼加成反应中，通过条件考察，得到反应最优条件为：以0.2 ml甲苯为添加剂，1.8 ml水为溶剂的条件下，以1 mol%材料为催化剂，1 mol%手性配体时，反应12 h可实现底模版底物转化为为98%，对映选择性为98%。同时，该材料底物适用范围广，可有效回收并进行重复使用，有望实现工业化生产。

关键字 纤维素；Cu2O/TiO2；水相；不对称硼加成反应；回收

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

104

**基于“自上而下”策略构筑竹基纤维素气凝胶及其性能研究**

周智敏

赣南师范大学

纤维素气凝胶具有高孔隙率、低密度、低导热系数和易于官能化等特点，在隔热、储能和电磁屏蔽等领域有广泛的应用前景。已有的隔热、吸油型纤维素气凝胶的制备主要采取自下而上法。然而，纳米纤维素的提取过程繁琐，成本高且对环境不友好；所得气凝胶力学强度通常小于10 kPa，极大的限制其实际应用。因此，开发兼具低成本、高效益和高强度、隔热、吸油性能的纤维素气凝胶仍面临挑战。本工作采取“自上而下”策略构筑竹纤维素气凝胶，对天然竹材进行脱木素处理后，通过硅烷改性制备具有保温性能及吸油性能的竹基气凝胶。其力学强度为60 kPa，径向及轴向导热系数分别为0.048、0.036 W m-1 K-1，同时气凝胶对轻油的十次循环吸附量达到44.17～47.21 g g-1。本工作简单、成本低并且保持了天然竹材的各向异性结构，不仅具有较高的力学强度、高效隔热、吸油等性能，还可以实现廉价生物质在建筑隔热、吸油等产业的应用。

关键字 纤维素；气凝胶；自上而下；隔热；吸油

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

108

**新型纤维素碳酸酯荧光功能材料的设计制备研究**

刘斐1,2、孙艺1,2、张伟1,2、徐怡婷1,2、于晓渤1,2、那海宁1,2、朱锦1,2

1. 中国科学院宁波材料技术与工程研究所

2. 浙江省生物基高分子材料技术与应用重点实验室

发展纤维素清洁、高效的高值化利用新方法是纤维素科学领域最重要的研究方向[1]。其中，基于纤维素新溶剂体系与溶解理论实现纤维素的溶解和功能化改性是重要的研究课题。最近，人们提出了一种新型纤维素溶剂，即二氧化碳可逆溶剂体系[2,3]。该体系通过CO2、有机碱（如DBU）与纤维素羟基发生化学反应，原位生成纤维素碳酸酯离子中间体，实现纤维素在有机溶剂（如DMSO）中的溶解。

本研究基于二氧化碳可逆溶剂，充分利用具有亲核活性的纤维素碳酸酯离子中间体[4]，实现温和条件下的纤维素功能化改性。通过纤维素碳酸酯离子中间体与具有聚集导致淬灭或聚集诱导发光功能的卤代功能试剂的亲核取代反应制备新型纤维素碳酸酯荧光功能材料，并探索在水产品新鲜度检测和金属离子响应方面的应用[5,6]。本研究为发展二氧化碳可逆溶剂体系溶解纤维素，并基于该体系实现纤维素的功能化改性提供了重要的参考，为发展纤维素高效清洁的利用方法提供了新的思路和解决方法。

关键字 纤维素，荧光材料，可逆溶剂，纤维素碳酸酯

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

109

**自组装纳米纤维素的制备**

张婉婕

北京理工大学

纳米纤维素具有比表面积大、长径比高、易于表面修饰、生物相容性好等优点，但是其主要通过破坏大型纤维素单元的无定形区制备，所获得的纳米纤维素结构和功能难以精确控制。基于此问题，本研究提出一种“自下而上”制备纳米纤维素的方法以实现对纳米纤维素结构和功能化的可控调节。制备的纳米纤维素是以纤维素酯为原料，以其水解后产物的分子间氢键和范德华力相互作用为驱动力完成自组装，并通过控制其自组装进程制备不同结构和功能化的纳米纤维素。由于所制备的纳米纤维素结构中残留了部分疏水基团，有望用于有机高分子体系，为其在树脂基复合材料领域的应用提供了新思路。

关键字 纳米纤维素；自组装；制备

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

112

**高选择性识别Al3+的具备AIE特性的**

**纤维素基荧光传感器**

周国诚

南京林业大学

摘要：纤维素具备一些有趣的特征,包括:生物降解性、生物相容、低成本、可重复使用、亲水性、耐热性、更强的吸附能力和可变的视觉外观。纤维素含有许多-OH，可以通过化学改性为创新的荧光智能材料。铝离子对环境及其生物潜在的危害，本文设计并构建了查尔酮类用于Al3+检测的点亮型荧光小分子GCA，并将其接枝到乙基纤维素（EC）上，利用该探针的AIE特性，以纤维素为材料主体制备了相应的纳米荧光传感器。通过光谱分析表征了EC-GCA的检测性能，结果表明该探针具有极高的选择性和灵敏度，检测限低至10-7 mol/L。此外，基于纤维素制备的静电纺丝纳米纤维膜呈现良好的稳定性和卓越的检测性能。通过核磁滴定，Job曲线滴定，高分辨质谱和红外确定了检测的机理。最后，还成功将荧光传感器应用于真实水样、膨化食品以及土壤中Al3+的检测。

关键字 荧光传感器、静电纺丝、纤维素

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

113

**羧甲基纤维素/聚丙烯酰胺乳液复合气凝胶的制备及其吸附水中重金属的研究**

毛慧敏

北京理工大学

近几十年来，纤维素由于可调节的表面化学性质，广泛应用于环境修复领域。其中，羧甲基纤维素含有大量的羟基和羧基，可以通过静电相互作用吸附水体中的重金属污染物，但力学性能较差，不利于重复使用。聚丙烯酰胺乳液作为水溶性高分子，常用作废水絮凝和污泥脱水，但缺少丰富官能团和三维网络结构，对重金属的吸附效率较低。为改善吸附剂的力学性能、提高吸附效率，以羧甲基纤维素和聚丙烯酰胺乳液为原料制备水凝胶，经锆离子交联，干燥得到羧甲基纤维素/聚丙烯酰胺乳液复合气凝胶，吸附水中重金属离子。采用傅里叶变换红外光谱、扫描电子显微镜、热重分析、溶胀率来表征甲基纤维素/聚丙烯酰胺乳液复合气凝胶的结构和性能；采用吸附实验研究气凝胶对水中重金属离子的吸附效果。

关键字 羧甲基纤维素 气凝胶 吸附

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

115

**单分散纤维寡糖-血红素纳米酶结构及性能调控**

袁博雅

北京理工大学 材料学院

催化性能不理想是目前人工仿生酶的瓶颈，实现纳米酶仿生结构的精准调控是解决上述问题的关键。寡糖在生物系统中可发挥包括结构支架、分子识别等多种作用，受此启发，本研究拟采用单分散纤维寡糖（MCOs）为分子支架来设计纳米酶结合位点。MCOs具有分子量均一、分子排列可调、易选择性化学改性、易结晶调控等优点，在自组装调控设计新型功能纳米材料方面具有巨大潜力。MCOs与碳酸氢铵发生经典的闭环胺化反应得到胺化MCOs。通过酰胺偶联反应，胺化 MCOs的氨基与血红素（hemin）的羧基缩合形成 MCOs@hemin纳米酶。纯hemin纳米酶的比酶活仅为0.12U/mg，MCOs@hemin纳米酶的比酶活提升了82倍（9.94U/mg）。由于原子间距变小有利于电子传递效率，共价相互作用MCOs@hemin纳米酶的催化活性比非共价相互作用MCOs/hemin纳米酶的催化活性提升了6.8倍。本研究推动纳米酶模拟生物酶活性中心的研究与发展，并为构筑高催化性能纳米酶的结构精细设计与性能优化提供理论基础和科学依据。

关键字 单分散纤维寡糖 纳米酶 催化性能

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

119

**低固含量纳米纤维素基材料的 3D打印成型及其多功能应用**

宦思琪、白龙、王成毓、李坚

东北林业大学

直写法（DIW）是一种适用于水凝胶材料的3D打印技术，为加工多级有序结构材料提供了定制化平台。适用于挤出式DIW打印的材料须既具备剪切变稀特性，又应具有适当的流变特性。因此，具有大长径比、易在水相形成网络结构的纤维素纳米纤维丝（CNF）成为构建DIW打印材料的理想基体[1]。本研究首先探索了低固含量CNF均相体系在3D打印中的应用，表明不同的CNF表面官能团性质能显著影响其打印过程及所得结构特性。在此基础上，将TEMPO氧化CNF与聚癸二酸甘油和聚吡咯混合制备复合打印材料，实现了打印构建兼具生物相容性与导电特性的精细器件。本研究进一步利用CNF的界面稳定性能合成了多相乳液基低固含量打印体系，实现了具备优异尺寸稳定性的可定制结构。在乳液中引入弱凝胶化有助于进一步促进CNF基乳液的打印（Figure 1），并可实现打印诱导类皮肤结构构建，赋予了所打印结构可控运输药物分子的性能。本研究通过对纳米纤维素在3D打印中的应用促进了木质资源的高效、高值及多功能应用。

关键字 纳米纤维素、3D打印、乳液凝胶

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

120

**多孔纤维素-壳聚糖/Pd催化剂的制备及其应用研究**

刘卓越

贵州师范大学

在绿色化学的倡导下，天然高分子因其来源广泛、官能团丰富、天然微/纳结构、绿色可降解等特点，在多种载体类型中受到广泛关注。纤维素和壳聚糖作为自然界中储量丰富、最常见的天然高分子聚合物，在化学和生物材料领域有着广泛应用。但纤维素上官能团单一，仅由纤维素制得的材料在应用方面受到较多限制， 例如活性组分固定量少、吸附效果不明显等。壳聚糖是一种除带有羟基外还携带氨基这种高活性基团的天然高分子，是一种更好的吸附载体。因此将其与纤维素进行复合所制备的材料具有更优异的功能性以及更广范的应用。本研究制备出一种三维多孔纤维素/壳聚糖复合微球，其具有较大比表面积、优异的热/化学稳定性，以及相对较高的金属Pd负载量。所得催化剂在C-C偶联及借氢反应中均展现出优异的催化活性、底物适用性及循环稳定性。

关键字 纤维素 壳聚糖 催化

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

121

**磷酸铝包覆纤维素杂化结构的制备及结构表征**

黄伟江、严伟、田琴、王奎、涂春云、杨春林、许晓璐

贵阳学院

复合阻燃剂中各组分的复合协同作用是提高阻燃效率的有效途径。本文以微晶纤维素（MCC）为载体，基于微胶囊包覆技术利用磷酸铝（AlPO4）对MCC进行表面改性，获得一种纤维素基杂化结构（AlPO4@MCC）。采用傅里叶红外光谱（FTIR）、扫描电子显微镜（SEM）及元素分布（Mapping）和热失重分析（TGA）等测试对包覆改性前后纤维素的结构、形貌变化和性能进行表征。研究结果表明：经包覆改性MCC在782cm-1、851cm-1处出现P-O、Al-O键的特征吸收峰；MCC表面由光滑平整的棒状结构经包覆改性后转为表面粗糙、凹凸不平、附着物覆盖明显的包覆结构，引入的P、Al元素均匀地分布在改性MCC的表面；同时AlPO4@MCC的热稳定性未明显降低。因此，通过上述测试结果表明制备纤维素基杂化结构符合预期的实验设计。

关键字 纤维素，阻燃，改性

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

123

**通过纳米多糖稳定聚乳酸的静电复合制备皮克林乳液**

郭娆、李豪、白龙、刘坤杨、宦思琪\*、王成毓\*

东北林业大学材料与科学学院

皮克林乳液是生产生活中常见且稳定的体系之一，其主要是由固体颗粒在一定外力的作用下吸附于两相界面处以达到两种不混溶体系的稳定，生物质纳米材料由其较小尺寸以及表面带有电荷等特性成为良好的皮克林乳液稳定材料。本研究采用纤维尺寸较长且带有负电荷的纳米纤维素纤维（CNF）与部分脱乙酰、带有正电荷的甲壳素纳米纤维（NCh）复合，得到分散均匀、无絮凝的混合悬浮液后，以稳定聚乳酸（PLA）/氯仿颗粒。实验结果发现，NCh的添加能够有效降低CNF/NCh悬浮液的表、界面张力，通过形成网络结构吸附在油水界面上，使所得皮克林乳液更加稳定。此外，乳液液滴的粒径可通过调整CNF/NCh悬浮液的组成所控制。所得乳液主要为水包油型，且当NCh的浓度大于等于0.5 wt%时，乳液的粒径更均匀且分散性更好。将乳液冻干可得到CNF/NCh/PLA复合气凝胶，PLA颗粒的添加能够显著改善气凝胶的机械、压缩强度，有效防止由固含量低所带来的坍塌、变形，同时制备得到多级孔隙结构的超轻气凝胶，为CNF基复合材料的设计、构建和应用提供更广泛的应用基础。

关键字 纤维素，甲壳素，皮克林乳液，气凝胶，聚乳酸

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

125

**羟基磷灰石改性多孔木气凝胶及其阻燃性能研究**

肖夏莲

赣南师范大学

生物质基阻燃材料具有可持续性，低成本、无毒的特点，相比化石基阻燃材料，具有成为下一代阻燃材料的潜力[1, 2]。纤维素是一种可再生天然有机高分子资源[3]，通过绿色阻燃改性技术制备阻燃纤维素基材料是纤维素功能化的重要课题。以自上而下技术制备的木气凝胶(WA)为原料，通过氯化钙和磷酸氢二钠在木气凝胶孔道表面原位合成羟基磷灰石(HAP)制备阻燃木气凝胶(WA/HAP)。研究WA孔径对HAP生长的限制作用，探讨材料的阻燃性以及HAP负载量对阻燃性能的影响。采用SEM，XRD，FTIR，XPS等手段对材料进行表征。结果表明，WA孔道表面成功生长针状HAP晶体，WA的孔径直接影响HAP的生长过程。垂直燃烧实验表明，制备的WA/HAP表现出良好的阻燃性，增加HAP负载量有利于改善材料的阻燃性。这种绿色技术制备的木基阻燃材料有望成为新型可持续的阻燃材料[4]。

关键字 纤维素；木气凝胶；阻燃；羟基磷灰石；自上而下

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

127

**半纤维素的结晶特性和晶体形貌**

项舟洋、桑燊、李潜龙

华南理工大学

木聚糖类半纤维素（木聚糖）是木质纤维生物质中含量最丰富的多糖大分子之一，由于其具有优异的水溶性/水分散性、天然的表面功能性、独特的流变特性等优点，在精细化学品方向有重要的应用潜能。然而，在分离与应用过程中，木聚糖极易发生晶态、半晶态与非晶态之间的无序转换，导致木聚糖的理化性能如水溶性、成膜性、流变性、乳化性、分散性等极其不稳定，成为制约木聚糖基精细化学品发展的重大瓶颈。因此，在本研究中，我们重点研究木聚糖的结晶特性、晶体形貌及二者对应用性能的影响，为木聚糖晶体的应用提供理论及技术支撑。植物细胞壁中的木聚糖受支链及乙酰基的影响具有非晶态的结构，经溶剂分离或衍生化改性的木聚糖可以形成结晶结构。例如脱乙酰木聚糖可以与水分子作用形成木聚糖水合晶结构，衍生化制备的饱和双乙酰木聚糖可以自发结晶。我们以两种主要木聚糖—阔叶木中的4-O-甲基-D-葡萄糖醛酸木聚糖以及蔗渣中的阿拉伯糖葡萄糖醛酸木聚糖为研究对象，分别研究了阿拉伯糖支链及糖醛酸支链对脱乙酰木聚糖水合结晶特性的影响；通过衍生化制备具有不同乙酰化取代度的乙酰化木聚糖，研究了木聚糖水合晶向双乙酰木聚糖晶体转变的动力学过程。研究发现，阿拉伯糖侧链通过空间位阻作用阻碍木聚糖的结晶，而糖醛酸侧链对木聚糖结晶的影响取决于其羧基基团的电离形式；木聚糖水合晶向双乙酰木聚糖晶体转变的过程中发生了分子构型的转变，具有较高的能量壁垒，需要在非常高的乙酰基团密度的情况下才能发生。我们还采用单晶生长的方法成功制备了纳米晶形式的木聚糖水合晶及双乙酰木聚糖晶体，并研究了其形态与表面形貌。此外，我们还发现，木聚糖水合纳米晶作为乳化剂或分散剂在制备Pickering乳液或分散无机功能材料例如碳纳米管中表现出优异的性能。

关键字 半纤维素；结晶；糖支链；乙酰化；晶体形貌

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

129

**芳纶纳米纤维/纳米纤维素复合气凝胶制备**

麦学妍、王钧、杨春元、林旭、张雪霞\*

福建农林大学

纳米纤维素气凝胶的可再生性、生物相容性和可降解性，使其成为国内外众多学者热衷的研究对象[1]。为了更好的提升纳米纤维素气凝胶的保温隔热性能和力学性能，通常采用复合方法[2]。引入芳纶纳米纤维与纳米纤维素按照不同比例均匀混合，利用芳纶纳米纤维具有高的长径比这一特点，结合纳米纤维素的高稳定性，将所得分散液通过双向冷冻技术[3]，调控冰晶生长方向，优化复合气凝胶的空间聚集结构，得到层状结构，利用真空干燥，得到具有各向同性的层状结构芳纶纳米纤维复合气凝胶。结果表明，当纳米纤维与芳纶纤维的质量比为10:3时，复合气凝胶结构规则，回弹性能好，孔径在100-150 um左右，密度最低可达8.3 mg/cm3，力学性能提升80%，导热系数低至25.56 mW/(m·k)，具有最佳优异的综合性能。

关键字 芳纶纳米纤维，纳米纤维素，双向冷冻，层状结构

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

131

**新型纤维素基材料的创制和应用**

王小敏、王洋、张超群

华南农业大学

纤维素是世界上蕴含量最为丰富的生物质资源，因含有大量的羟基而具备多元化衍生潜力，有望成为替代石化基的可再生降解材料。然而分子内/间氢键使得纤维素不溶于一般溶剂，导致衍生化困难。本项目研究新型溶剂对纤维素溶解与衍生化机理，制备纤维素衍生物化膜材料与研究界面微纳结构调控方法，并探讨在智能材料、光学管理、细胞培养等领域的应用。

关键字 纤维素，衍生化，结构调控

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

147

**生物基材料分子结构与锂离子电池性能**

刘健

厦门大学

硅基负极材料因其较高的比容量、低的放电电位、对环境无污染和安全性好等优点被认为将来能够成为替代传统的石墨负极的下一代锂离子电池负极材料。纤维素系列衍生物作为硅负极的粘结剂，展现出了优越的性能。本研究旨在制备具有不同分子结构的纤维素衍生物粘结剂，并探索其分子结构对电化学性能的影响。首先，研究成功制备不同聚合度的纤维素，随后利用衍生化反应，成功制备具有不同分子结构（不同聚合度和不同取代度）的纤维素衍生物，并对结构进行了表征，将其作为粘结剂应用于锂离子电池的电极中。阻抗分析结果表明纤维素衍生物取代度的升高有利于降低电极的内阻，促进锂离子的传导。恒流充放电测试结果发现具有特定结构的纤维素衍生物展现出了最好的性能。本研究对纤维素衍生物分子结构对硅基电极的循环性能的影响机理进行了深入探讨,为后续制备更适用于硅负极的粘结剂提供扎实的理论基础。

关键字 羧甲基纤维素，锂离子电池，循环性能

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

150

**多功能超弹性纤维素气凝胶的构筑及其应用**

秦恒飞、罗京、孟娟

江苏理工学院

气凝胶作为最轻的固体材料，在热调节、能量收集和储存、传感器、环境修复、和生物医学等领域颇具应用潜力，但常规气凝胶的弹性性能较差，严重限制了其应用。本文提出了一种双冰模板组装（DITA）策略，首先在液氮（-196 °C）冷冻条件下将纳米纤维素组装成亚微米纤维，进一步在-20 °C下将亚微米纤维组装成三维网络结构，冷冻干燥后获得高弹性气凝胶。采用DITA制备的气凝胶具有各向同性超弹性功能，在常温和极冷的液氮中该气凝胶可以从纵向和横截面超过80%的压缩应变中恢复。通过有机硅烷的化学气相沉积法对其进行表面改性，该气凝胶具有超疏水性，高液体吸收能力（氯仿的吸附量达489 g/g），自清洁，隔热（0.023 W/m·K )和红外屏蔽功能。本文提供了一种超弹性气凝胶的设计策略及其衍生的多功能弹性体气凝胶制备技术，有望拓展气凝胶的应用领域。

关键字 纤维素；气凝胶；弹性；自清洁

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

153

**纳米纤维素基气凝胶吸油材料的制备及应用**

李艳香、张静静、李望良

中国科学院过程工程研究所

在石油勘探、开发、炼制及运储过程中,造成的溢油事故层出不穷，溢油污染对生态环境和人类健康造成了严重危害。具有特殊表面润湿性（如疏水/亲油）的多孔吸附材料可以快速有效地实现油水分离。纳米纤维素气凝胶轻质多孔，具有高比表面积，并且具有纤维素可再生、可降解、环境友好、易于修饰等特点，在吸附分离方面具有显著优势。然而纳米纤维素是超亲水材料，常采用疏水改性的方法提高其油水选择性，包括浸渍法、接枝法、气相沉积法、高温碳化等修饰低表面能物质和微纳米颗粒。但是，存在含氟低表面能物质毒性大、微纳米颗粒易脱落、环境不友好、制备过程复杂等问题。

本文以天然的纳米纤维素和生物蜡为原料，首先将生物蜡（蜂蜡和棕榈蜡）制备成稳定的乳液，然后与纳米纤维素分散液混合，通过定向冷冻干燥制备疏水的纳米纤维素气凝胶（BC/Wax）。生物蜡本身为疏水材料，同时可在纤维素纤维表面形成微纳米粗糙结构，协同提高气凝胶的疏水性，无需再引入其他纳米颗粒。

所制备的BC/Wax气凝胶的水接触角为132.4°，对各种油类和有机溶剂的吸附倍率可达自身重量的59.95-111.66倍，并且压弹性好，可通过挤压重复使用。本文的原料和试剂绿色环保、制备过程简单，吸油倍率高，在油污处理领域具有潜在的应用前景。

关键字 纳米纤维素 生物蜡 气凝胶 吸油材料 疏水改性

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

157

**功能化纤维素基高效率太阳能电池**

欧阳新华、吴义炳、林睿、张洪、林智超、许雪娥、胡会超

福建农林大学

纤维素作为重要的可循环再生资源，因其具有复杂的多层次结构和独特的光学调控功能，近年来备受太阳能电池研究领域广泛关注。创新性提出农林剩余物羧甲基纤维素作为太阳能电池界面修饰的设计思路，解决传统纤维素由于载流子迁移率低下而不适应于电池界面的难题，实现纤维素基高效率太阳能电池的制备；通过利用农林剩余物纤维素纳米纸作为太阳能电池光捕获增透膜的方法，利用纤维素纳米纸自陷光效应和结晶分布差异，解决传统增透膜不能实现广角捕获的问题，电池表现出优异的光电性能和有效的广角光捕获特性；提出基于农林剩余物纤维素作为钙钛矿太阳能电池体相钝化添加剂的新思路，利用纤维素羟基与钙钛矿的相互作用，钝化钙钛矿薄膜的缺陷，改善钙钛矿薄膜中的晶体结晶取向、提高钙钛矿薄膜的质量，实现稳定高效钙钛矿太阳能电池的制备。本研究为纤维素的高值化应用开辟了新途径，也为太阳能电池纤维素界面的研究做出理论探索和研究铺垫。

关键字 太阳能电池；功能化纤维素；农林剩余物

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

158

**ZnO/纤维素复合材料的界面设计与性能强化策略：分枝化纤维网络诱导ZnO花组装**

李鑫、张莉莉、王志国、吴淑芳、马金霞

南京林业大学

形貌可控的氧化锌（ZnO）纳米粒子在可再生能源的开发和环境修复领域显示出优异的光电性能。开发利用可再生生物质材料调控ZnO的生长和性能，以实现高效光催化和循环利用的可持续纳米技术尤为关键。在本工作中，我们利用超微研磨获得具有不同孔径的多尺度分枝化纤维网络骨架（CFG），完成调控原位生长的ZnO花的组装尺寸，并结合传统的造纸工艺制备了不同的ZnO/纤维素纸基催化剂。实验分析和理论模拟结合表明，分枝纤维网络的小孔隙增强了ZnO花与纤维素纤维之间的界面相互作用，优化了ZnO花结构，改善了复合材料的力学性能。ZnO/CFG20纸基催化剂负载的ZnO花尺寸最小（875±101 nm），对甲基橙（100%）、苯酚（100%）、苯胺（85.23%）等典型的苯系污染物有优异的光降解能力。这种绿色调控策略可为高效催化剂的合成提供新的思路。

关键字 纤维素；多尺度；氧化锌花；界面调控；光催化

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

159

**纱布的浸润性和组织粘附性与止血性能的关系**

刘海清

福建师范大学

纱布的吸水性、柔软和组织友好特性使它能够快速吸收水分，浓缩红细胞和血小板；适形伤口，紧贴组织；低炎症反应，因此纱布是大出血外伤伤口的常用止血材料。但是，纱布容易吸收大量血液，造成不必要的血液损失，给伤员造成一定的健康和生命风险。为了构建出血量少、止血快的高效止血纱布，可以通过分子结构设计，在纱布表面引入基团，改变纱布的水浸润性和组织粘附性，从而控制血液在纱布内部和纱布/组织结合处的运动方向和速度，进而减小伤口血液的运动速度，降低出血量，得到快速止血纱布。

关键字 纤维素；纱布；浸润性；止血

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

163

**纤维素基室温磷光材料**

张金明

中国科学院化学研究所

有机室温磷光材料由于具有长发射寿命、高信噪比、无背景荧光和散射光干扰等优势，在生物成像、信息加密、信息防伪、识别检测、光学显示、激光等领域具有重要应用。有机室温磷光材料的制备需要同时满足系间窜越系数的提高和非辐射跃迁的抑制。为此，有机磷光材料通常需要形成结晶结构、超分子组装体、包覆结构或交联网络结构，以限制分子或基团的运动，同时隔绝氧气，才可能实现磷光发射。但是，这些策略导致所得有机室温磷光材料的加工成型变得困难，难以适应各种材料形式的需求，并且还缺少响应性，这也限制了其更加广泛的应用。

纤维素是一类来源广泛、储量丰富、生物相容性、可完全生物降解性和可再生性的天然高分子材料。特别是纤维素分子链上具有大量的羟基基团，可以形成强的氢键网络，可以有效抑制三重态激子的非辐射跃迁，是一种理想的有机室温磷光基体。发展纤维素基室温磷光材料不仅能实现纤维素的高值化利用，而且可以丰富有机室温磷光材料的种类，构建新型环境友好的有机室温磷光材料，促进室温磷光材料的发展和应用。本论文以纤维素作为有机室温磷光的基体材料，通过化学修饰对纤维素链上丰富的羟基进行衍生化，结合纤维素链间的强相互作用力，设计并制备了系列不同结构、功能性且易加工的纤维素基有机室温磷光材料。

关键字 纤维素；磷光；离子液体

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

165

**纤维素化学功能转化探索**

祁海松

华南理工大学

纤维素化学发展了近200年，不仅促进了高分子科学的奠定和发展，而且也是纤维素转化和利用的基础。然而，传统纤维素化学改性在纤维素功能化等方面存在局限性，难以满足当前对材料功能的更高要求。针对该挑战，本团队积极探索纤维素功能改性新思路，基于化学组合反应实现纤维素和功能分子的高效融合，如利用Hantzsch反应、Biginelli反应等实现了纤维素的多种功能转化，包括荧光、磷光、抗紫外线、糖支链化等。该过程具有反应条件温和、选择性好、易分离纯化、原子经济性高和环境友好等优点，为纤维素功能大分子的构建和相关功能材料的制备提供了新途径。由于采用共价键将功能基团连接在纤维素分子链上，解决了常规物理共混法中功能填料分布均匀性差和易脱落等缺陷，从而实现了材料功能的均匀、稳定和持久性；通过功能组分的结构调控、不同功能组分的组合及反应条件的设计等方法，不仅实现了具有特定功能纤维素分子和材料的定制化制备，而且在同一反应中实现了不同功能的融合，制备出了兼具多种功能的纤维素分子和材料。该工作不仅为生物质的功能转化和高值利用提供了新途径，而且丰富了高分子化学的基础理论。

关键字 纤维素；化学改性；功能转化

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

209

**纤维素基多巴改性材料**

吴慧、黄六莲、陈礼辉

福建农林大学

作为自然界丰富的天然有机高分子，纤维素具有价格低廉、生物可降解性、生物相容性、力学性能良好等优点，但也存在黏附力弱的缺陷。将纤维素进行物理或化学改性制备粘性纤维素基材料，是高效利用纤维素资源的有效途径之一，对拓展纤维素的应用领域具有重要意义。

在本报告中，我们将邻苯二酚基团并入纤维素中，介绍了纤维素基超疏水粒子、纤维素基胶黏剂和纤维素基水凝胶。使用P(DOPAm-co-PFOEA)共聚物修饰纤维素，制备了超疏水磁性纤维素粒子，并将其用来制备具有液滴输送和操纵能力的液体弹珠[1]。采用原子转移自由聚合，将邻苯二酚基团接枝到纤维素上，制备了耐水性的纤维素基多巴接枝共聚物胶黏剂，解析了纤维素基胶黏材料的结构、生物相容性及胶合性能[2]。运用酰胺化反应，制备了高胶合性能的TEMPO氧化纤维素基多巴胶黏剂[3]。利用CNF交联P(HEMA-co-DMA)共聚物，得到了绿色环保高强胶黏性能的CNF/P(HEMA-co-DMA)胶黏剂，在医学、电子、食品包装领域中具有很好的应用潜力[4]。通过蓝光引发，制备了具有快速胶凝、优异抗菌、止血、促皮肤伤口愈合性能的烯丙基纤维素/多巴阳离子共聚物水凝胶（AC/PDM），在组织黏附相关领域中具有巨大的潜在应用[5]。采用含邻苯二酚和阳离子的物质为单体，纳米纤维素为填料，获得了具有高力学强度、黏附性、抗菌、导电和良好生物相容性的双网络复合水凝胶，在可穿戴设备领域具有潜在的应用前景[6]。

参考文献：

[1] X. Lin, W. Ma, H. Wu, S. Cao, L. Huang, L. Chen, A. Takahara, Chem. Commun. 2016, 52, 1895.

[2] Z. Tang, S. Bian, Z. Lin, H. Xiao, M. Zhang, K. Liu, X. Li, B. Du, L. Huang, L. Chen, Y. Ni, H. Wu, Macromol. Mater. Eng. 2021, 2100232.

[3] Z. W. Tang, M. C. Zhao, Y. Wang, W. L. Zhang, M. Zhang, H. Xiao, L. L. Huang, L. H. Chen, X. H. Ouyang, H. B. Zeng, H. Wu, Int. J. Biol. Macromol. 2020, 144, 127.

[4] Z. Tang, M. Zhang, H. Xiao, K. Liu, X. Li, B. Du, L. Huang, L. Chen, H. Wu, ACS Biomater. Sci. Eng. 2022, 8, 1096.

[5] S. Lu, X. Zhang, Z. Tang, H. Xiao, M. Zhang, K. Liu, L. Chen, L. Huang, Y. Ni, H. Wu, Chem. Eng. J. 2021, 417, 129329.

[6] J. Wei, X. Zhang, F. Wang, Y. Shao, W.-B. Zhang, H. Wu, Compos. Sci. Technol. 2023, 231, 109793.

关键字 纤维素

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

214

**改性低聚纤维素调控硫空位纳米 CuxS 及其光催化降解废水中的 有机污染物**

高欣

昆明理工大学

半导体光催化是一种生态友好型的环境污染治理技术。铜硫化合物（CuxS）光电性 质优异、能带结构适宜，但光生载流子快速复合、界面反应能力弱等问题制约其在水环 境治理中的应用。前期，研究者发现天然纤维素能稳定固载纳粒，有效调控其尺寸和形 貌，显著提升材料的光催性能。因此，本文探讨纤维素分子构造对半导体光化学转化能 力的潜在影响，首次将玉米秸穰作为低聚纤维素来源，经纤维素均相衍生化制备阳离子 产物（RCC）为载体构筑具有硫空位结构的 CuxS 光催复合微球，为水环境修复提供新 思路。RCC 分子链中季铵盐的取代度（DS）对 CuxS 晶体的本征结构和催化性能有着显 著影响，因其与 Cu2+之间存在 S 2-的竞争，产生强界面耦合效应，导致 CuxS 中出现丰富 S 空位，提升电荷分离效能，改善复合体系的光催活性。在 DS=0.36 的 RCC 载体中 CuxS 尺寸 9.92 nm，x 值 1.25，比表面积 264.4 m2 /g，价带 1.54 eV 和导带-0.71 eV；在 500 w 可见光作用下，2 min 和 20 min 完全降解甲基橙和利福平。

关键字 低聚纤维素，水环境修复，铜硫化合物，硫空位结构，高光催化活性

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

219

**基于全多糖水凝胶和MXene的超薄、柔韧电磁干扰屏蔽纸**

戴磊、韦嘉盛、李迪

陕西科技大学

随着电子设备的广泛应用，电磁波污染已成为一个严重的问题。而传统的金属基电磁干扰（EMI）屏蔽材料大多具有高密度和成本、易腐蚀和难加工的特性[1-2]。因此，有必要开发轻量、低成本、柔性和高性能的EMI屏蔽材料。在这项工作中，通过简单的表面处理，使用全多糖水凝胶和MXene设计一种超薄、柔韧的EMI屏蔽纸。TEMPO氧化纤维素纳米纤维（TOCN）和阳离子瓜尔胶（CGG）由于静电相互作用自组装形成水凝胶封装MXene，在滤纸顶部形成含MXene的水凝胶膜。水凝胶薄膜增强了复合纸的拉伸强度（9.49 MPa）。含有80 mg MXene（即2.07 mg·cm-2）的复合纸具有优异的EMI屏蔽效果（49.37 dB）。组装的2层TC-M 80复合纸达到73.99 dB。此外，它在1000次弯曲后保持了稳定的屏蔽性能。TOCN/CGG水凝胶薄膜还能够保护MXene免受多种溶剂的影响，聚二甲基硅氧烷（PDMS）的掺入进一步提高了复合纸的耐用性。这种含MXene的水凝胶复合纸还对细微的应变/应力信号做出灵敏的反应，同时表现出广泛的检测范围。

关键字 电磁屏蔽；纸基材料；纤维素纳米纤维

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

230

**再生纤维素新结构设计及性能研究**

叶冬冬

安徽农业大学

纤维素是储量最丰富的结晶聚多糖，其可再生、可降解、易获得，是构筑功能材料的优异载体。我们基于低温碱/尿素溶剂溶解纤维素，发展一系列物理-化学双交联策略调控纤维素分子链形成新结构和功能的方法，包括：提出“梯度双交联”策略，设计一类周期性褶皱结构再生纤维素水凝胶，调控细胞生长[1]；提出“流动辅助双交联”策略，构筑一类高强、优异热阻隔性能再生纤维素海绵纤维[2]；提出“纤维素-功能纳米基元协同取向”策略，构筑高离子电导、基元序构化再生纤维素复合材料，实现高效离子传输及渗透能转化[3]；提出“温度场调控冰冻界面组装结构”方法，构筑一类具有厚壁、减震特性的再生纤维素海绵，应用于保温、穿戴材料[4]。我们通过系统梳理双交联策略在再生纤维素聚集态结构调控及功能设计的应用，启发甲壳素、壳聚糖等其他聚多糖的研究。

参考文献：

[1] Jie Zou, Shuangquan Wu, Jie Chen, Xiaojuan Lei, Qihua Li, Hui Yu, Shan Tang\*, Dongdong Ye\*, Adv. Mater. 2019, 31: 1904762.

[2] Qihua Li, Zhanhong Yuan, Chi Zhang, Shuiqing Hu, Zhiming Chen, Yingzhu Wu, Pan Chen, Haisong Qi, Dongdong Ye\*, Nano Lett. 2022, 22: 3516.

[3] Jie Zou, Shufen Li, Zhanhong Yuan, Xianglin Pei\*, Hui Yu\*, Pan Chen, Dongdong Ye\*, Chem. Eng. J. 2023, 451: 138876.

[4] Binglin Zhou, Jie Zou, Zewan Lin, Zhanhong Yuan, Xingzhen Qin\*, Pan Chen, Dongdong Ye\*, Chem. Eng. J. 2023, 457: 141167.

关键字 再生纤维素；各向异性；纳米纤维；功能应用

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

232

**3D打印含木质素纳米纤维素气凝胶及其热管理应用研究**

刘楚航1、李美春1,2、刘朝政1、梅长彤1

1. 南京林业大学 材料科学与工程学院

2. 中国石油大学(华东) 石油工程学院

温度敏感器件，如感温元件、电池等，在运输、储存和使用的过程中易受环境温度影响，会出现失灵、损坏等现象，甚至造成安全事故，因此开发高效的热管理技术迫在眉睫。纳米纤维素气凝胶因其低导热系数、高孔隙率等优点，已被广泛应用于隔热领域中。通过保留木质纤维中的木质素和3D打印技术，可定制出高木质素含量、高精度、高保真度的含木质素纳米纤维素(LCNF)气凝胶，在温敏器件热管理领域具有广阔的应用前景。本研究以未漂白杨木机械纸浆为原料，结合TEMPO氧化和超声法制备出LCNF, 并经过浓缩、均质处理后，获得了可用于挤出式3D打印凝胶墨水。流变性能测试、打印工艺优化和形状保真度评估结果表明，LCNF墨水具有优异的3D可打印性。进一步根据实际应用需求构建了三维模型，经打印、冷冻干燥后，形成的轻质多孔气凝胶具有良好的隔热性能，且因其保留了大量木质素成分，相较于纳米纤维素气凝胶具有更佳的力学性能、耐湿性和抗紫外性能，可用于温敏器件的个性化热管理。

关键字 3D打印，含木质素纳米纤维素气凝胶，热管理

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

239

**纤维素基离子输运隔膜**

许阳蕾、吴洪钦、张学铭、许凤

北京林业大学

电池隔膜的离子传输性是构建能源存储器件，实现高能量密度能源存储系统的重要依据。然而，现阶段较厚的商用隔膜阻碍了其快速离子输运及高效储能。我们设计了一种c超薄的高性能纤维素基隔膜，该隔膜中离子传输通道是通过蚀刻填充在纤维素隔膜上无机CaCO3纳米粒子而获得。该隔膜具有较高的抗拉强度(75.83 MPa)，热稳定性(200℃)，足以在超过200℃的温度下保持结构完整性，优于商用聚丙烯基隔膜。纤维素分离器具有亲水性、高孔隙率、高密度和优异的电解质吸收率(208.5%)，具有离子的快速传输和渗透性。在1.0 M Na2SO4电解液中进行电化学测试，其离子电流是商用无纺布聚丙烯隔膜(NKKTM -MPF30AC-100)的2.5倍。多孔纤维素隔膜具有优异的电解质润湿性、机械坚固性和高热稳定性等独特优势，是一种具有高性能和安全性的极有前景的隔膜。

关键字 纤维素，隔膜，离子输运

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

259

**纳米纤维素隔膜及高性能锂金属电池**

那兵、谢友森、刘艳、曾蓉、邹淑芬

东华理工大学

全球能源危机和“双碳”目标加剧了对高性能锂电池的需求。高分子材料在锂电池中具有举足轻重的作用，主要作为隔膜和粘结剂。传统合成高分子材料，如聚烯烃等，是基于石油合成的，消耗能源，并造成白色污染。相比而言，纤维素是自然界通过光合作用形成的、存量最大的天然生物质（每年超千亿吨），具有可再生、可降解的优点。

通过化学发泡和多巴胺杂化相结合，调控纳米纤维素复合膜孔形态和表面结构（Figure 1）[1]。复合隔膜表现出高离子电导率（0.81 mS/cm）和抑制锂枝晶的特性，所组装的锂电池具有优异的循环稳定性，在5C电流密度下循环300圈后比容量保持为130.7 mAhg-1。

关键字 纳米纤维素，隔膜，锂金属电池

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

262

**相分离法调控再生纤维素微球结构**

赵轩、周金平

武汉大学

再生纤维素微球兼具纤维素无毒、绿色可持续和微球高比表面积及孔隙率、易分离等优点，在分离、吸附等领域有广泛应用。[1,2]然而，传统制备方法流程复杂，需用到有毒的交联剂、致孔剂，所得微球结构不可控。本工作中，我们基于反相微乳液法，将低温诱导相分离与非溶剂诱导相分离方法相结合，提出了一种制备结构可调纤维素微球的方法。将纤维素溶液均匀分散在异辛烷/Span85溶液中，置于不同低温环境中一定时间，再加入不同比例的乙醇/水混合溶液，最后得到不同微观结构的再生纤维素微球。纤维素液滴在低温诱导下发生微相分离得到具有多孔结构的微球，温度降低使得微球孔径逐渐减小。此外，非溶剂对微球的结构也有着显著的影响。当非溶剂中乙醇比例较高时，微球表面呈现为大孔结构；而随着乙醇比例的降低，微球表面的大孔逐渐缩小；当乙醇体积分数降低至50%时，大孔结构消失，呈现出多孔网状结构。该方法操作简单，无需加入有害的交联剂，简单的改变条件便可以得到孔径可调的多孔再生纤维素微球。

参考文献：

[1] H. Tu, M.X. Zhu, B. Duan, L.N. Zhang. *Adv. Mater*. 2021, 33 (28), 22.

[2] C.J. Wen, W.G. Tian, X. Ji, Z. Xu, L.L. Yang, G.J. Song, J. Yu, J. Zhang. *ACS Sustainable Chem. Eng*. 2023, 11 (1), 256-266.

关键字 相分离 再生纤维素微球 结构调控

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

269

**基于低共熔体系的纤维素溶剂及其溶解机理**

刘瑞刚

中国科学院化学研究所

在纤维素氢键解离与重构的基础上，通过氢键给体（HBD）和氢键受体（HBA）选择，设计了可以真正溶解纤维素的低共熔溶剂（DES）体系，即ChOH/Urea和TBAP/DMSO溶剂体系。上述两种纤维素新溶剂体系对纤维素具有良好的溶解能力，且可以回收利用，有望用于纤维素新材料的加工。溶解机理研究表明，在纤维素/ChOH/Urea体系中，胆碱对纤维的溶解起主要作用，其氢氧根离子破坏了纤维素的氢键网络。而胆碱上的烷基与吡喃糖环之间的范德华相互作用也促进了纤维素的溶解。尿素和纤维素是竞争关系，对纤维素的溶解作用不大，主要起到稳定胆碱并减低体系粘度的作用。TBAP/DMSO体系中，DMSO起到释放阴离子和阳离子并降低体系粘度的作用。磷酸一氢根阴离子具有很强的氢键接受能力，能与纤维素羟基形成氢键，破坏纤维素的氢键网络。阳离子作为阴离子的抗衡离子结合在纤维素分子周围，但不与纤维素形成氢键。DMSO和水与纤维素没有相互作用。

关键字 纤维素，DES，溶解机理

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

284

**纤维素基材料的润湿性调控及其功能化应用**

王海松

大连工业大学

在石油基资源短缺、塑料污染加剧和国家“禁塑”、“双碳”政策的大背景下，纤维素基材料因具有天然可降解性、柔韧性好、易掺杂、原料易得、价格低廉和便于工业化生产等诸多优势，在可降解多功能代塑材料领域展示出巨大的应用潜力。然而，纤维素纸基材料固有的亲水性严重阻碍了其应用领域。报告从纤维素纤维的多羟基结构出发，分析了亲疏水调控的机理及改善策略，分别采用浆内添加、表面涂布、气相沉积等手段制备了超亲/疏水纤维基材料，并探索了在代塑纸吸管、防潮抗水纸箱、全纤维可降解湿巾纸、抗菌果蔬保鲜纸、可降解地膜纸、锂电池隔膜纸、全植物纤维发泡缓冲材料、超灵敏柔性传感等方面的应用和效果。

关键字 纤维素；超疏水；代塑；果蔬保鲜

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

286

**纤维素基气体阻隔材料的制备与性能研究**

姚若彤

中国科学院理化技术研究所

中国科学院大学

气体阻隔材料在食品、药品等包装领域具有广泛的应用前景。纤维素以其良好的生物降解性、低廉的材料成本、丰富的资源和较大的生产规模，在包装领域备受关注[1]。纳米纤维素因具有高结晶度、高比表面积、力学性能优异、成膜性好等优势，在提高功能膜材料的性能中发挥着重要作用[2]。然而，由于其亲水性和多孔性，纳米纤维素基包装材料的阻隔性差且强度低，极大地限制了其应用。本文将疏水改性的一维纳米纤维素与二维片层材料复合，并对其进行结构优化制备阻隔涂层，探究不同长径比、不同疏水程度及涂层致密度对气体阻隔性能的影响(Figure 1)。研究表明：处理后的纸张的拉伸强度、疏水性、水蒸气阻隔性和氧气阻隔性均得到一定程度的改善。其中在98%的超高湿度条件下可使水蒸气透过率下降15%。这种方法能够在保证纸张疏水性的情况下，改善纸张在高湿度条件下的水蒸气阻隔性能，为进一步扩展纳米纤维素在阻隔包装领域中的应用提供新思路。

关键字 纳米纤维素，气体阻隔性能，水蒸气透过率，疏水性

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

287

**曼尼希反应构建抗菌抗病毒纤维素表界面及其应用**

胡松楠

华南理工大学轻工科学与工程学院

病原微生物通过不同表面传播对公共卫生构成严重威胁。本研究提出一种受生物启发的改性策略，通过曼尼希反应在纤维素表面引入生物质小分子（氨基酸、姜黄素），构建抗病毒和抗菌纤维素基材料。通过扫描电子显微镜、核磁共振、X射线衍射和原子力显微镜等对改性纤维素的形貌和性能进行了表征，以大肠杆菌、金黄色葡萄球菌、白假丝酵母进行定性和定量评价抗菌性能，采用噬菌体模型研究其抗病毒性能。结果表明，氨基酸修饰的硫酸化纳米纤维素的抗病毒活性显著提高，姜黄素修饰的纤维素表面对纳米银颗粒具有强而持久的粘附。抗菌棉织品经过50次洗涤后也可以保持优异的抗菌性能（接近100%），该方法过程绿色、温和、高效，容易放大生产，具有良好的开发利用前景，特别是在医疗保健领域具有重要潜力。

关键字 纤维素；曼尼希反应；抗菌；抗病毒

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

289

**可调结构色纤维素纳米晶材料的构建与应用研究**

宋飞、汪子力、董秀、何尧东

四川大学

纤维素纳米晶（CNC）拥有来源丰富、良好生物相容性与降解性、高结晶度及高杨氏模量等特性，其在一定浓度下可自组装获得手性向列型液晶结构，从而表现出独特的光学性能，在防伪、传感以及装饰涂料等领域具有极大应用价值。然而，CNC材料存在脆性强、结构色可见性较弱的问题，限制了其实际应用；同时，利用 CNC材料的结构色实现对环境信号和特定化学物质的可视化传感研究较少；此外，CNC膜的研究仍局限于具有强角度依赖性的虹彩结构色，导致在可视化传感过程中易产生严重误差。针对上述问题，提出通过共混、共组装、多层复合等多种策略，构建了具有可调结构色、良好力学性能、可控虹彩-非虹彩效应的CNC共混与复合膜，拓展了材料在信号传感、机械变色、信息加密等领域的应用研究。

关键字 纤维素纳米晶，结构色，功能化

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

291

**木质纤维素基复合材料：从跨尺度设计到可持续应用**

陈朝吉

武汉大学

生物质材料来源丰富，是大自然赠予人类的宝贵资源。其中木材是自然界最为丰富的生物质材料之一，广泛分布于世界各地。据估算，地球上大约有3.04万亿棵树，平均每个人超过400棵。早在石器时代之前，人类就经历了一段长期的木器时代。木材作为一种古老的材料，在人类发展过程中扮演者重要的角色。人们用木材制作工具与家具、建造房子、甚至制造纸张，应用于生活的方方面面。但是，一直到近现代更加先进的表征和实验技术出现，人们才开始对木材更加微观的结构及化学组分有所了解。随着了解的深入，人们发现木材具有独特的分级多孔结构，其成分主要为纤维素、半纤维素及木质素。其独特的分级多孔结构和富含功能团的组分提供了丰富的多尺度设计空间，对其结构及组分的调控可以提高木材的性能，甚至赋予其新功能1。可持续循环利用以木材为代表的生物质资源，是我国乃至全人类社会实现可持续发展及“碳中和”的重要途径之一。本报告将探讨木质生物质基复合材料的多尺度结构设计策略及可持续功能化利用，着重探讨这类材料如何“蜕变”为高科技材料及其如何应对可持续发展及实现“碳中和”面临的材料-能源-环境挑战。

参考文献

[1] Chaoji Chen, Yudi Kuang, Shuze Zhu, Ingo Burgert, Tobias Keplinger, Amy Gong, Teng Li, Lars Berglund, Stephen J. Eichhorn, Liangbing Hu\* Structure–property–function relationships of natural and engineered wood. Nat. Rev. Mater. 2020, 5, 642–666.

关键字 木质纤维素；生物质；生物基复合材料；超分子设计

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

292

**仿生多级光子结构构建极端环境稳定的多彩光晶布**

张晓芳、李芳玲、徐卫林

武汉纺织大学省部共建纺织新材料与先进加工技术国家重点实验室

       倚靠化学分子结构转变生色的化学染料或颜料在高低温、强紫外、酸碱、有机溶剂等条件下易褪色，稳定性差，很难满足高新科技应用领域（如月面国旗、彩色太空服等）对色彩的需求，开发持久、稳定颜色是该研究领域的重点和难点。受自然界中五彩斑斓生物体启发，基于纤维素纳米晶自组装形成手性光子结构产生结构色原理 [1, 2] ，结合纤维素良好的热稳定性，耐溶剂性，及力学性能，本研究提出以纤维素纳米晶为功能光子染料，以表面具有特殊地形形貌的纺织品为基材，借助微模板技术，将纤维素手性光子结构原位镶嵌在织物表面，构建互锁多层次结构（Figure 1a）,同时模板化纳米尺度手性组装体；通过集成多级光子结构光-机械特异性及织物良好的柔韧性，大规模制备了在高低温（130 oC vs -196 oC）,强酸、碱，强紫外及有机溶剂等极端环境中具有优异色彩稳定性的米级光晶布（Figure 1b,c），并应用于无墨水丝网印刷。本研究为面向极端环境的新型纺织品提供新思路与新方法。

关键字 纤维素，多级组装，光子结构，光晶布，极端环境

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

296

**稻草纤维素纳米纤维增强电纺聚乙烯醇抗菌薄膜**

朱龙祥、冯昭雪、潘雨静

青岛大学

木质纤维素是最丰富的可再生生物质资源，主要包括硬木、软木、秸秆、竹、草等，其主要成分纤维素、半纤维素和木质素，可作为重要的能源和化工原料。木质纤维素的高值化利用可以减少对不可再生的化石资源的依赖。近年来，木质纤维素/高分子复合材料受到研究者的广泛关注。本研究以水稻秸秆为原料通过低温相变法[1]提取纤维素微纤维，并通过TEMPO氧化法制备纳米纤维素(T-CNF)。FT-IR和XRD结果表明，制备的T-CNF相较原料CMF，表面产生新的基团且纤维素的晶型发生了改变。最后通过静电纺丝制备T-CNF增强PVA复合纤维薄膜。研究了不同T-CNF含量对T-CNF/PVA复合薄膜的影响。T-CNF与PVA分子间可以形成强烈的氢键作用，T-CNF加入后，PVA自身的晶格结构排列更加有序紧凑，因此拉伸强度、断裂伸长率和弹性模量在一定程度上有所提高。T-CNF/PVA-2复合薄膜的拉伸强度为44.59 MPa，高于纯PVA的5.00 MPa。SEM结果表明，当T-CNF 含量较高时，T-CNF 在纺丝液中产生强氢键作用[2]，纳米粒子的团聚使T-CNF在 PVA 溶液中的分散相容性降低，导致T-CNF不能均匀分散在PVA 基体中，降低了T-CNF/PVA纺丝液的稳定性和可纺性，从而影响T-CNF/PVA纺丝液在射流过程中的形成与拉伸。抗菌性能研究表明T-CNF/PVA-2复合薄膜对金黄色葡萄球菌表现出优异抗菌活性，而对于大肠杆菌有一定的抗菌活性。加入少量的纳米Ag制备的复合薄膜对更高浓度的金黄色葡萄球菌和大肠杆菌也具有优异的抗菌活性。

关键字 秸秆；纳米纤维素；静电纺丝；抗菌

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

300

**耐老化的高透明高雾度纤维素薄膜的制备及应用**

赵思舜1、方志强1、刘宇1、林晓琪1、陈开湟1、邱学青2

1. 华南理工大学

2. 广东工业大学

将可持续的高透明高雾度纤维素薄膜与柔性光电器件的结合是当今世界的研究热点。化学改性纤维是制备高透明高雾度纤维素薄膜的理想原料之一。然而，化学改性(如TEMPO氧化)易损伤纤维性能和引入发色基团，造成纤维耐热或紫外光的能力下降，最终影响集成器件的性能和使用寿命。本研究采用醚化技术在木浆中引入羧甲基，再通过真空过滤成功制备了具备优异耐热和紫外光老化性能的高透明高雾度纤维素薄膜。耐老化的薄膜展示出在高温或强紫外光的极端环境中使用的巨大潜力，薄膜在180 °C热处理2 h后，透光率和拉伸强度仅降低4%和10%，而在紫外线(340 nm)照射192 h (8天)后，薄膜的透光率和强度几乎不变。本工作为制备具有优异耐老化性能的纤维素薄膜提供了一种可行的解决方案。

关键字 耐老化；纤维素薄膜；透光率；雾度；

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

306

**纤维素基碳材料电催化硝酸根还原制氨**

葛鑫

贵州大学

目前，环境中存在大量含有过量的硝酸盐离子的水体，对人类的生命健康构成重大威胁。当前已开发许多物理、化学和生物技术方法来去除水体中的硝酸盐，但大多数都需要较高的后处理成本和严苛处理条件。相比之下，电化学还原硝酸盐具有更广阔的应用前景。在电还原硝酸盐体系中，电极材料是电化学还原的关键。本论文通过水热法将纤维素（Cellulose）碳化，并负载Mo后得到Cellulose-Mo催化剂，对硝酸盐还原为氨的电催化过程进行深入研究。实验表明Cellulose-Mo在含有NO3-的0.1 M Na2SO4溶液中比不含NO3-的Na2SO4溶液中表现出更高的电流密度, 并且Cellulose-Mo在不含NO3-的0.05 M的Na2SO4溶液中电解，检测电解液中没有氨生成，排除被外界N污染的可能。Cellulose-Mo在外加电压-0.4 V（vs RHE）时，NH3产率和法拉第效率最高，产率为0.38 mmol h-1 cm-2,法拉第效率为34.8%。本论文使用价格低廉的纤维素作为催化剂基体，进一步降低了催化剂的成本，为纤维素基碳材料的进一步探索开辟了一条新的路径。

关键字 电催化，硝酸根，氨，纤维素基

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

321

**高强韧双交联纤维素水凝胶基材料的构筑与应用**

卫平东

西湖大学

纤维素，是世界上储量最丰富的可再生资源，其具有生物相容性优异、亲水性以及生物可降解性好以及力学性能高等突出优势，是构筑高性能水凝胶材料的理想前驱体。纤维素是一种典型的两亲性高分子，其链上的轴向和径向的极性不同，这种化学构象的各向异性对其自组装和重结晶过程会产生显著影响。因此，如何调控纤维素分子链的自组装与重结晶，进而调控其聚集态结构，对提高再生纤维素材料的力学性能至关重要。

针对这一问题，首先，我们提出了溶液退火辅助双交联策略（图1a），退火与化学交联剂的加入会诱导部分区域的纤维素分子链之间发生疏水聚集形成聚集体，最终得到结晶性能优异的双交联纤维素水凝胶，从而在加载过程中可以更好的吸收能量，显著提高双交联纤维素水凝胶的力学性能。

其次，我们提出了一种多重刚性策略（图1b），将两亲性氧化石墨烯（GO）纳米片引入双交联网络得到纤维素复合水凝胶，GO同时可以作为化学交联和物理交联的位点，同步提高纤维素水凝胶的强度和韧性。此外由于GO优异的光热转化性能，该复合水凝胶具有较好的光热抗菌性能。

总之，针对纤维素聚集态结构调控这一核心科学问题，我们成功制得了高强韧纤维素水凝胶材料，并初步探索其可能的应用前景，有望提高纤维素水凝胶的应用前景。

关键字 纤维素，水凝胶，聚集态结构调控，力学性能

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

322

**基于B-O共价键合策略构筑大面积及颜色可调谐室温磷光纸**

吕保中、高倩、彭锋

北京林业大学

构建颜色可调、可加工、环境友好的室温磷光材料具有一定挑战。本文开发了一种水体系非均相共价键合策略，将芳基硼酸发色团通过B-O共价键固定在纤维素链上，有效抑制磷光发色团的能量耗散，可获得1.42 s长寿命室温磷光纤维素。通过调节芳基硼酸的共轭程度，纤维素磷光材料的余辉颜色可从蓝色转变为绿色以及红色。受此启发，构建了一条原位B-O共价反应生产线将纸浆转化为余辉纸。与原始纸张相比，余辉室温磷光纸形貌、力学性能、热性能和外观几乎没有变化，且由于水分子对氢键的破坏作用使余辉纸具备水蒸汽刺激响应特性。余辉纸具备良好的磷光性能、可加工以及大面积制备等优势，且可折叠成不同的3D形状，在防伪加密领域具有广阔的应用前景。

关键字 纤维素，室温磷光，纸基功能材料，刺激响应，防伪

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

333

**离子强度对Ⅰ型纤维素（CNCs）聚集态的影响研究**

于凡超、蔡宽张品乐，王鑫，许燕浩，陈俊宇，

广西大学轻工与食品工程学院

纤维素纳米晶体（CNCs）具有高结晶度、优异的机械性能、低密度、环境友好等优点，且表面具有大量的羟基，易于发生化学反应。在外加离子的作用下，CNCs表面电荷与聚集状态发生改变，进一步增加体系内离子浓度，CNCs与离子发生交联反应，诱导形成水凝胶。本文以酶解的CNCs为原料，在CNCs悬浮液中加入不同价态、不同浓度的无机盐电解质，探究其表面电位、空间网络结构的变化并进行分析。在阳离子价态与浓度较大时，会出现溶胶-凝胶的相转变，体系由液溶胶转变成凝胶。且在加入了电解质溶液后，悬浮液体系的Zeta电位变大，尤其是加入了浓度较大且阳离子价态也高的1 M的AlCl3溶液后，体系的Zeta电位可达到1.07mV。体系中阳离子浓度增大，聚集程度变高，搭构出更强的空间网络结构。

关键字 CNCs ；无机盐电解质；离子价态；聚集状态

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

336

**一种纤维素基气凝胶新鲜度微指示器用于食品质量实时监测**

杨阳

广西大学

食品新鲜度的实时监测对于减少食源性疾病和降低消费成本至关重要。因此，我们研制了甘蔗渣纳米纤维素气凝胶，将其作为气体传感材料并集成制备了具有实时监测功能的新鲜度微指示器。以甘蔗渣纤维素为原料，采用TEMPO氧化法制备纳米纤维素，并与聚乙烯亚胺经静电结合和化学交联制备了强自立的纤维素水凝胶，再经常温干燥后得到具有优异回弹性和稳定性的纤维素气凝胶。该气凝胶对CO2气体具有灵敏响应性，可以产生快速的电信号响应。研究发现，气体传感器的输出电压随着鸡胸肉样品变质而增加，因为鸡胸肉的储存过程伴随着CO2浓度和微生物浓度的增加。当鸡胸肉在储存过程中释放的复杂气体挥发物超过了人类可接受的限度，自供电新鲜度微指示器立即发出警示信号。这种用纳米纤维素气凝胶制成的新鲜度微指示器的新设计对鸡胸肉变质有快速反应，本工作为纤维素材料在智能包装领域的应用提供了新的思路。

关键字 纳米纤维素；水凝胶；气凝胶；二氧化碳；新鲜度指示器

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

337

**超疏水纤维素基介孔功能材料的设计及吸附性能的研究**

孙钟1、时君友2、段喜鑫2

1. 东北电力大学

2. 北华大学

将一种新型的高比表面积的聚合物（PDVB-NH2）与纤维素纳米晶（CNC）连接制备CNC/PDVB-NH2，用于去除水中的Cr（Ⅵ）和Mn（Ⅶ）。利用SEM、元素分析、FTIR、XPS、Zeta电位测定、比表面积及孔径分布测定CNC/PDVB-NH2复合材料进行表征分析。结果表明CNC/PDVB-NH2复合材料表面存在介孔，比表面积为238.3 m2/g。

实验结果显示，温度为40 ℃，对Cr（Ⅵ）的吸附量在180 min左右不再发生变化，而吸附Mn（Ⅶ）时则在10 min内就会实现吸附平衡。CNC/PDVB-NH2复合材料对Cr（Ⅵ）和Mn（Ⅶ）的吸附是自发的、吸热的过程，并且可以用Langmuir吸附等温线模型和伪二阶动力学模型描述，对Cr（Ⅵ）和Mn（Ⅶ）的理论最大吸附量为130.39 mg/g和308.94 mg/g。经5次循环吸附实验后对Cr（Ⅵ）和Mn（Ⅶ）依旧有一定的吸附效果。CNC/PDVB-NH2复合材料吸附去除Cr（Ⅵ）和Mn（Ⅶ）的机理可能为正负静电吸引作用、氧化还原反应以及配位作用。

关键字 纤维素 功能材料 吸附性能

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

344

**全生物可降解涂层纸吸管的制备及其性能研究**

易泽德

华南理工大学

由于塑料的难降解性，塑料吸管的广泛使用造成了严重的塑料污染问题。开发生物可降解吸管是解决塑料污染的关键所在。在本项研究中，将生物质材料海藻酸钠（SA）和纤维素纳米纤维（CNF）杂化涂层涂布于纸张，并通过简单的卷起成吸管状，进一步通过Ca2+交联和硬脂酸（STA）疏水化改性，制备了SA/CNF/STA@straw。该方法不使用有害溶剂以及粘合剂，制备方法简单。SA/CNF/STA@straw具有以下优异性能：（1）经SA/CNF杂化涂层改性后，纸张的拉伸强度可达26.5±0.8 MPa；（2）改性后纸张具有足够的水稳定性，水接触角最大为103.67±1.4°，30 min吸水率为42.19±0.6%；（3）与商用纸吸管和聚丙烯（PP）吸管相比，SA/CNF/STA@straw具有更为优异的机械性能，弯曲强度和压缩强度分别为13.45±1.16 MPa和13.30±0.47 MPa；（4）经过90天的土壤掩埋后，纸吸管大部分发生降解。总而言之，SA/CNF/STA@straw的综合性能超过了市售同类别吸管，有望成为塑料吸管的替代品。

关键字 海藻酸钠；纤维素纳米纤维；硬脂酸；生物可降解；纸吸管

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

347

**聚集态调控具有多模式发射、可调节激发依赖和可见光激发的室温磷光材料**

尤晶璇、张金明、张军

中国科学院大学化学研究所

发展简单的策略构建具有多种发光模式的磷光材料引人入胜且具有重要实用意义。本实验中，我们发现和论证了一种简单的新策略，使用纤维素偏苯甲酸盐单一有机组分，构建多模式长寿命有机室温磷光材料。通过对纤维素偏苯甲酸盐聚集状态的调控，制得3种不同发光模式的有机室温磷光材料，包括：分子级分散的蓝色磷光材料、聚集态的绿色磷光材料和分子级分散状态和聚集态共存的具有明显激发波长依赖性的磷光材料。基于上述结果，利用来自天然且环境友好的同一磷光聚合物可以有效制备各种复杂的磷光防伪图案和信息存储密码，具有重要的应用前景。

关键字 纤维素，磷光，聚集态，激发依赖性

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

352

**用于多功能光管理的高透明雾度可调控聚乙烯醇/再生纤维素复合膜**

赵彩湄、龚鑫虎、林晓天、张超群、王洋

华南农业大学

具有高透光率的雾度材料是一种具有光管理能力的光学材料，能够调节透射光的散射角度从而延长光在光电器件中的光路长度，在光电转化领域具有出色的应用前景。

通过添加聚乙烯醇（PVA）控制纤维素的溶解和再生过程来制备纤维素复合膜（CCF）。富含羟基的PVA与纤维素共同竞争纤维素溶剂的氢键结合位点，导致了纤维素发生部分溶解，从而保持了宽度为14.55-16.16 μm的微米纤维，起到了原位光散射的作用。通过这些独特的微米结构，所获得的CCF在550 nm处表现出高达90.5%的高透明度和高达96%的超高雾度，可作为室内光管理的散射灯罩、电子设备屏幕防眩光保护器和太阳能电池装置的光管理层使用。

关键字 高雾度，高透明，再生纤维素

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

353

**ZIF-8@羧基化纤维素/海藻酸钠气凝胶制备及对亚甲基蓝选择性吸附性能**

刘碟、陈景红、焦晨璐

安徽农业大学

基于纤维素气凝胶在染料废水处理中存在的功能作用单一、机械强度差、循环利用性差等问题。本文以羧基化纤维素（CMCC）和海藻酸钠（SA）为双网络凝胶框架，金属有机框架ZIF-8为功能组分，通过“自组装-原位生长”两步法制得结构增强型ZIF-8@CMCC/SA气凝胶。一系列表征显示ZIF-8均匀地负载在气凝胶孔壁，具有开放可调的孔道、充分的活性基团和良好的结构稳定性。当ZIF-8含量为28.3 %，吸附时间为180 min时，ZIF-8@CMCC/SA气凝胶对亚甲基蓝、刚果红、罗丹明B和活性红X-3b四种染料的吸附效果最好。吸附过程符合准二级动力学曲线和Lamgmuir吸附等温模型，四种染料的Langmuir最大吸附容量分别为884.96、194.93、159.49和140.06 mg·g-1，对MB表现出高度的选择性吸附。经过5次吸附-解吸循环后，对MB的吸附量仍能保持其原始值的84.9 %，为纤维素基多功能气凝胶的开发设计和染料废水处理提供策略方案。

关键字 纤维素；ZIF-8；气凝胶；亚甲基蓝；选择性吸附

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

357

**基于动态交联策略制备纤维素基气凝胶并用于染料移除**

邱常静、李越虎、祁海松

华南理工大学

在可持续发展的驱动下，处理有害染料废水的巨大压力凸显了开发更有效、可选择性去除和分离染料的生物质吸附剂的迫切需要。本论文利用动态烯胺键交联策略，以乙酰乙酸纤维素和乙酰乙酸环糊精为基底，聚乙烯亚胺为交联剂构建了一种可用于静态和动态移除染料的纤维素基气凝胶。该材料在 25℃下对甲基橙的吸附量高达 1013.11mg/g。由于聚乙烯亚胺的加入，该材料具有丰富的表面正电荷，可以选择性的吸附阴离子染料，实现染料分离的目的。与此同时，该材料还具有抗菌的附加功能。更重要的是，调节体系的 pH 值可实现凝胶与溶胶之间的动态转变，提高了吸附剂的再加工和重复利用。本文为构建生物质吸附剂材料提供了一种简单绿色的策略，扩大了其在染料废水处理领域的应用。

关键字 纤维素 阴离子染料吸附剂

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

366

**气体吹纺法制备纤维素纤维及无纺布**

南勤颖、王喜、张金明、武进、张军

中国科学院化学研究所

新型冠状病毒COVID-19疫情爆发以来，导致作为医用防护用品原材料的无纺布的产量不断增加，这就产生了大量的废弃无纺布，这些无纺布产品被随意丢弃后会在自然作用下慢慢碎裂成微塑料，在环境中持续存在造成严重的环境污染，所以亟需发展可生物降解型无纺布来缓解这些问题。而纤维素作为自然环境中含量最多、分布最广的天然高分子，研究纤维素无纺布可以有效缓解污染问题。

以实验室搭建的气流纺丝装置为平台，以离子液体为溶剂，开展了纤维素纤维及无纺布制备的实验，不仅研究了挤出压力、气流压力等工艺参数对纤维素纤维的规律性影响，还探讨了纤维素无纺布的结构和特性。研究发现制备出的纤维素纤维直径可以达到微纳级别，最细纤维直径可以达到600nm。纤维素纤维经过收集后可以形成纤维素无纺布。

关键字 纤维素纤维，无纺布

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

370

**天然可降解且具有高拉伸能力和颜色动态响应性能的纤维素基弹性体材料**

孙景1、齐云赓1,2、王士豪1

1. 南京林业大学

2. 大连工业大学

纤维素是自然界中分布最广、含量最多的多糖，占植物界碳含量的50%以上[1]。羟丙基纤维素(Hydroxypropyl cellulose, HPC)作为纤维素衍生物之一，除了具有可再生、可降解、对环境污染少的特点外，还表现出两个显著的性能:手性和氢键相互作用(分子内和分子间氢键)。因为纤维素它有很强的氢键作用，所以很难被高度拉伸。在这里，我们展示了一种简单的方法来构建纤维素基弹性体，它可以通过拉伸和压缩的作用实现力致变色。用CaCl2、NaCl和Na2SO4盐调节纤维素的氢键相互作用，可以使水凝胶的力学性能具有广泛的可逆性，通过对羟丙基纤维素弹性体在拉伸过程中的控制可以很好地调节其显色性。因此，通过这种方法制备的纤维素基弹性体材料可以拉伸高达720%，并赋予所得弹性体应变诱导的宽范围(0-600%)动态结构颜色和自修复能力，有望在各种应用中扩展新的可能性，包括防伪标签，柔软可折叠显示器和可穿戴光学设备。

关键字 纤维素 力致变色 弹性体

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

372

**纤维素类玻璃高分子材料的设计与性能研究**

黄乐文、白云

赣南师范大学

传统的热固性塑料由于共价交联，虽然具有良好的力学性能，但是具有不可回收性，对环境造成了影响。然而热塑性塑料不具有交联结构，虽然可以回收，但由于机械性能不理想，限制了其应用范围。类玻璃高分子[1]材料在常温下具有像热固性材料的交联网络，使得其机械性能足够强，在外界一定刺激下，交联的网络发生动态交联，又能像热塑性塑料那样修复和再加工。

石油基资源日益枯竭，同时石油基材料对生态环境具有一定的破坏性，然而生物基资源丰富，而且对环境的破坏小，所以将石油基材料过渡到生物基材料中是一件具有非常重要意义的事情。

纤维素[2]是一种可再生而且大量存在的生物基资源，将动态交联引入纤维素中，得到了可再加工，可修复，高机械强度，高热稳定性的纤维素类玻璃高分子材料。使用一步法，利用10-十一烯酰氯合成了10-十一烯纤维素酯。

关键字 纤维素 类玻璃高分子

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

381

**纤维素绿色水合盐溶剂体系的开发及应用研究**

黄海龙、苗海越、付晓彬、刘洪涛、钱渊

中国科学院上海应用物理研究所

纤维素作为地球上存储量最丰富生物质多糖，其在功能性生物材料中具有广泛的应用。然而，强烈的分子内/分子间相互作用使纤维素无法溶解在普通的溶剂中，严重限制了其在功能材料领域的开发及应用[1-5]。针对纤维素溶解困难及制备工艺复杂的问题，我们开发了一系列纤维素水合熔盐溶剂体系，成功实现了对纤维素的溶解，溶解温度低，速率快。并且溶解后的纤维素具有优异的稳定性。同时，溶剂体系还具备出色的回收再利用特性。在此基础上我们实现了一步法制备纤维素功能凝胶材料，不仅具有可调控的力学性能，导电性(78.89 mS/cm)和抗冻性(> -80 ℃)，并且还具有优异的稳定性，室温状态下保存90天失水率低于30%，以及生物可降解性（降解周期21天）。我们利用该体系制备的纤维素水凝胶在柔性可穿戴的电子设备，柔性超级电容器和生物质敷料等方面取了显著的性能优势。本研究为简单制备绿色生物质纤维素凝胶材料提供了新思路、新策略，并扩展该类材料在新兴领域的应用前景。

关键字 纤维素；水合熔盐；水凝胶；生物质功能材料

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

390

**催化法制备纤维素氨基甲酸酯**

陈浪、徐霁威

赣南师范大学

纤维素氨基甲酸酯（CC）是一种可降解，对环境有好的生物基材料。因其在生产流程上与粘胶工艺十分相似，且污染性小、成本低，故在替代粘胶工艺方面有较大潜力[1]。目前合成纤维素氨基甲酸酯的方法，大部分涉及到有机溶剂的使用亦或者尿素使用量大以及生产周期长等问题。本文在常规加热法[2]的基础上，使用不同的催化剂合成CC并通过氢氧化钠水溶液溶解得到CC溶液，生产成本更低，周期更短。该工作中使用不同的催化剂以及无催化的方式得到不同的CC浆。通过扫描电镜、凯氏定氮法、粘度仪、流变仪、光学显微镜、红外等进行表征，结果显示Catalyst 2以及Catalyst 3催化得到的CC浆的表面粗糙度，含氮量、溶解效果均高于无催化CC浆。

关键字 纤维素氨基甲酸酯、催化法、催化剂

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

403

**纳米纤维素的绿色生物制造及其应用研究**

孙东平

南京理工大学

细菌纤维素是由微生物发酵合成的多孔性网状纳米级生物高分子聚合物。通过构建木醋杆菌K. xylinus RZS01的基因组规模网络模型，探索了胞内酶学调控和代谢流控制细菌纤维素形态，并对微生物产纤维素代谢进行了宏观和微观结构调控。通过调控胞内外生物途径合成了具有三维网络的基于细菌纤维素的纳米复合材料，利用微生物代谢产纤维素的过程，在活生物体的调控下原位实现了与有机基质、无机矿物的高效复合。借助其与金属纳米材料、碳材料、聚合物等纳米材料的复合，针对组织工程中不同组织、细胞界面作用的结构和性能匹配性，设计的多种智能水凝胶体系在高分子荧光材料、可吸收止血材料、药物载体等方面有着广泛的应用前景。此外，宏量制备的新型电化学能源体系关键电极材料可促进细菌纤维素衍生的先进功能材料在低碳新能源领域的广泛应用。

关键字 细菌纤维素，生物制造，功能材料，生物医用

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

436

**极端条件下稳定服役的纤维素基绝缘纳米纸**

孙文彬

中国科学技术大学

本工作报道了一种具有优异电绝缘性能的超强纤维素基纳米纸。得到的复合纳米纸具有优异的力学性能，包括高抗拉强度、可折叠性和抗弯曲性能。“砖-泥”结构的设计使纳米纸可以充分发挥合成云母的高介电强度的优势，使其具有较高的介电强度和超长的耐电晕寿命。此外，这种纤维素基纳米纸在高低温交替、紫外线和原子氧等极端环境下也可以维持优异的综合性能。该材料这为未来对极端环境的探索提供了一个极好的材料选择。

关键字 细菌纤维素，“砖-泥”结构，纳米纸

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

438

**未漂浆在NMMO水溶液中直接溶解及其薄膜构建**

李东勇、陈依若、谢益民、冯清华

湖北工业大学

木质纤维素由于可再生，储量丰富的特点受到大量关注。由木质纤维素制成的高分子材料具有良好的生物相容性和可降解性。近年来，对如何将农业废弃物转化为高附加值的生物制品已成为热门领域。本研究以N-甲基吗啉-N-氧化物(NMMO)-水溶剂体系完全溶解未漂白的木质纤维素来制备可再生的纤维素薄膜。使用高压旋转流变仪对完全溶解的纤维素溶液粘度进行测量，在剪切速率为6.28 rad/s时，剪切粘度超过100 Pa.s。随着剪切速率的增加，表现出剪切变稀的非牛顿流体行为。实验制备得到的薄膜具有良好的拉伸强度(最大强度73.1 MPa)，同时木质素的存在使其具有良好的紫外屏蔽性，在厚度仅为0.017 mm时，紫外线屏蔽率超过75%。通过SEM、XPS和拉曼光谱等一系列方法对样品的结构进行表征，进一步探讨其存在的应用领域。这种利用NMMO水溶液直接溶解木质纤维素的方法有望生产出坚固且可降解的生物塑料，是石化塑料的潜在替代品，为农业废弃物的利用提供了可能的途径。

关键字 纤维素；木质素；NMMO；溶解；薄膜；

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

440

**纤维素纳米纤维基仿生结构材料**

杨怀斌

中国科学技术大学

材料是人类文明发展的物质基础。航空航天等高技术领域对工程结构材料性能的提升不断提出新的需求，研制全面超越工程塑料、陶瓷和金属材料等传统结构材料的新型轻质高强材料，对相关领域的实际应用具有重要的战略意义，在轻量化抗冲击防护和缓冲材料、空间材料、精密仪器结构件等应用领域将具有广阔的应用前景。基于纤维素纳米纤维的本征特点，本工作发展了一种新型水凝胶层层组装方法，成功研制了一类纤维素纳米纤维基仿生结构材料。纤维素纳米纤维基仿生结构材料具有优异的综合性能，密度仅为钢的六分之一，而比强度、比韧性均超过传统合金材料、陶瓷和工程塑料，这种新型可持续仿生结构材料有望替代现有的工程塑料，具有广阔的应用前景。

关键字 纤维素纳米纤维，仿生，结构材料

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

443

**细菌纤维素功能材料**

杨光

华中科技大学

细菌纤维素（Bacterial Cellulose, BC）是一种微生物合成的天然水凝胶，具有良好的生物相容性，其在创伤修复、人造血管、神经界面与修复、介入栓塞、药物缓释载体等生物医学领域得到了广泛研究。葡糖木醋杆菌在运动的过程中合成BC，细菌的运动方式直接决定了BC网络的织态结构。因而，通过控制葡糖木醋杆菌的运动行为，可以实现对生物被膜材料结构与功能的精确调控。在此，我们建立了通过电场、固-气-液界面、液相位阻调控、气相发酵环境调控等方法以控制细菌运动，从而实现细菌纤维素的结构功能材料的构筑。另一方面，BC上丰富的羟基赋予了其强大的化学反应活性，为其通过化学改性作为高性能生物医用材料提供了理论基础。我们以BC为良好生物相容性的、网络结构可控的支架材料，通过掺杂、基团改性、共价接枝等方法赋予其抗菌性、电活性、光热性能，拓展了其在生物医用应用，用于感染/慢性伤口的修复、疝气修补、小尺寸血管替代、抑制头颈鳞癌术后复发等。

关键字 细菌纤维素，葡糖木醋杆菌，结构可控，功能修饰，生物医用

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

446

**生物合成的可食用新型环保细菌纤维素基吸管**

杨怀斌、刘兆祥、尹崇翰、韩子盟、管庆方\*、赵玉祥、凌张弛、刘浩诚、杨昆鹏、孙文彬、俞书宏\*

中国科学技术大学

一次性塑料吸管的广泛使用造成了严重的环境问题，并且微塑料的释放对人类健康造成了潜在危害，我国已经在禁塑令中禁止了一次性塑料吸管的使用。而纸吸管作为其最常用的替代品，机械性能较差且用户体验不佳。常见的聚乳酸吸管也面临较高的生产成本与统一回收处理的困难。本工作中报道了一种由细菌生物合成得到的新型细菌纤维素（BC）基可食用无微塑料的吸管。这种吸管层间由海藻酸钠粘结，避免了非可食用粘合剂的使用，同时海藻酸钠与纤维素的相互作用与形成的三维互穿网络使BC基吸管具有比纸吸管更好的机械性能。由于纳米级三维纤维网络和较强的层间连接，这种BC基吸管的综合性能超过了商用吸管，满足了实际使用的要求。特别值得注意的是，可食用特性为吸管提供了更好的用户体验、健康保证与最终处理方式，使其成为塑料吸管的更健康、更环保的替代品。

关键字 纤维素；生物合成；吸管；可食用

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

447

**全天然仿木气凝胶**

韩子盟、孙文彬、管庆方、俞书宏

中国科学技术大学

近日，中国科学技术大学俞书宏院士团队报告了一种自下而上的策略，利用天然生物质和天然矿物为原料，制备了一种具有优良隔热和耐火性能的纯天然仿木气凝胶。该团队通过巧妙的表面化学调控，成功实现了在温和条件下活化微米尺度的木屑颗粒表面，从而暴露出纤维素纳米纤维，该过程被研究人员称为表面纳米化。这些颗粒表面的纳米纤维显著增强了颗粒之间的相互作用，结合单向冷冻技术成功构建了强韧耐用的仿木气凝胶。该材料的仿木结构大大降低了气凝胶的热导率，使其具有17.4 mW m-1 K-1的超低径向热导率。同时，由于加入了天然粘土纳米片，该气凝胶的耐火性能也有了很大的提高，可以承受1300℃高温的火焰至少20分钟而不被烧透。它的隔热和防火性能优于天然巴沙木和大多数商业海绵，使其成为现有商业隔热材料的理想替代品。此外，其天然的原料来源和低能耗低排放的制备工艺使这种气凝胶具有良好的生物降解性和可持续性，从而可以减少隔热材料在生产，使用和废弃过程中对环境的负面影响。该成果近期发表在国际期刊Angewandte Chemie上。论文第一作者为博士研究生韩子盟和孙文彬，通讯作者为管庆方副研究员和俞书宏院士。

关键字 纤维素纳米纤维 木材 农业废弃物利用 生物质 气凝胶

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

452

**超强、超韧仿珍珠母透明薄膜用于塑料替代**

凌张弛、管庆方、俞书宏

中国科学技术大学

塑料在日常生活中起着至关重要的作用，但对环境和人类健康的负面影响却日益严峻。亟需开发替代传统塑料的新型可持续材料。在此，受珍珠层“砖-泥”结构的启发，我们通过气溶胶辅助生物合成工艺结合热压技术制备了一种纳米粘土片/细菌纤维素透明薄膜。该薄膜内部具有致密的仿珍珠母“砖-纤维”结构，实现了比其他仿珍珠母薄膜更高的强度（482 MPa）和韧性（17.71 MJ m−3 ）, 可以折叠成各种形状而且展开后不会出现明显的损伤。此外，与大多数商业塑料薄膜相比，它还具有更低的热膨胀系数（~3 ppm K-1）和更高的正常服役温度，这使其在塑料替代领域中极具竞争力。

关键字 仿珍珠母结构、生物合成、细菌纤维素、超强、超韧、透明

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

455

**盐酸法制备微晶纤维素研究**

郝肖、吉兴香、田中建、杨桂花、谢照勇

齐鲁工业大学（山东省科学院）

溶解浆是一种纤维白度较高，分子量均匀，反应性能较好的精致化学浆 [1]。微晶纤维素是植物纤维素经稀酸水解和多种后续处理而得到的晶体物质，是一种白色、无臭、无味和多孔性结晶粉末。微晶纤维素在医药、食品、日用化工、材料等领域表现出良好的应用价值。研究表明，不同理化性质的微晶纤维素表现出不同性能，其中粒度是决定结晶水解的动力学的一个关键因素，粒径分布越窄，流动性越好，片剂崩解度随着MCC粒径减小逐渐增大，溶出度则随着MCC粒径减小逐渐减小[2, 3]。结晶度越大，片剂可压性越好等。因此，以溶解浆为原料，通过盐酸处理制备微晶纤维素，探究了盐酸浓度、反应时间、反应温度对微晶纤维素得率、粒径和结晶度的影响规律，实验结果表明，得率和结晶度随盐酸浓度、反应时间、反应温度的增加先上升后下降；粒径随盐酸浓度、反应时间、反应温度的增加而减小。当盐酸浓度2mol/L、反应时间60min、反应温度90℃时，微晶纤维素的得率最高，此时平均粒径为25.99μm，结晶度为82.58%。

关键字 溶解浆，微晶纤维素，粒径，盐酸

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

456

**基于可食用马尾藻纤维素的高性能餐具用结构材料**

李德涵、韩子盟、何谦、管庆方、俞书宏

中国科学技术大学

目前，全球塑料产量已超过3.68亿吨，其中一次性使用的塑料制品约占40%。这些塑料制品，尤其是一次性包装和一次性餐具等材料，面临着总消耗量大、浪费严重及回收困难等问题。同时，广泛使用的一次性塑料餐具在使用后通常被埋入或直接丢弃到自然环境中，有大量的研究表明塑料在日常使用和降解过程中都会释放出微塑料，这将进一步对环境和人体健康构成潜在威胁。因此，为解决这一问题，开发具有优异的力学强度和耐热性能、不释放微塑料的高性能结构材料迫在眉睫。

基于此，中国科学技术大学俞书宏院士团队报告了一种由食品级安全的马尾藻纤维素纳米纤维（SCNF）制成的具有优异力学性能和热学性能的一次性可生物降解餐具。相关成果以“Ultrastrong, Thermally Stable, and Food-Safe Seaweed-Based Structural Material for Tableware”为题发表在《先进材料》上（*Advanced Materials*, 2023, 35(1): 2208098）。首先，作者在温和的反应条件下，以高效、低能耗的方法从马尾藻工业废弃物中提取出一种食品安全的SCNF。随后，通过自下而上的方法将SCNF组装成致密的块体材料，并将其制备成高强度（283 MPa）和热稳定性优异（>160 ℃）的马尾藻纤维素纳米纤维结构材料（SCNSM）。与大多数商用的塑料相比，该结构材料具有较高的硬度，还可以通过破坏和重组可逆的纳米纤维间氢键相互作用网络来耗散能量，成功地实现了强度、模量、韧性和热稳定性的平衡。同时，SCNSM具有良好的可加工性能，可以将其加工成不同形状的餐具，如刀和叉等。基于SCNSM的餐具整体性能优于商用塑料餐具、木基餐具和聚乳酸基餐具，在餐具领域显示出巨大的应用潜力。论文第一作者为博士研究生李德涵、韩子盟和硕士研究生何谦，通讯作者为管庆方副研究员和俞书宏院士。

关键字 马尾藻纤维素纳米纤维、结构材料、热学性能、力学性能、可食用餐具

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

458

**低共熔溶剂体系预处理制备纳米纤维素的研究**

赵连杰

齐鲁工业大学(山东省科学院)， 生物基材料与绿色造纸国家重点实验室

近年来，随着环境污染的加剧及自然资源的消耗，研究发展新型绿色可降解材料成为一大热点。基于纳米纤维素强度高、结晶度高、比表面积大等特性，对于纳米纤维素的研究与应用层出不穷；低共熔溶剂作为环境友好型的类离子液体绿色溶剂，具有无污染、生物相容性良好、稳定性高等特性，在纳米纤维素的制备及功能化应用中展现了强大的发展潜力。

本文采用氯化胆碱-尿素/乳酸/甘油三种低共熔溶剂( DES )体系预处理，结合球磨机械处理将漂白化学杨木浆制备成纤维素纳米纤丝( CNF )， 探讨了预处理时间与DES种类对CNF性能的影响。利用粒径、扫描电子显微镜、红外光谱、 X 射线衍射和热重等进行了分析表征。结果表明: DES 预处理可以促进纸浆纤维的润胀，有利于球磨过程中纤维的纤丝化；经氯化胆碱-尿素处理2 h球磨处理4 h所得的CNF平均粒径最小，为 93. 02 nm ,结晶度最低为 56.2% ,较未处理降低6.01% ；处理前后红外光谱的吸收峰频率及谱带形状基本相同，主要有机官能团未发生质的变化。

关键字 纤维素纳米纤丝；低共熔溶剂；氯化胆碱

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

462

**高强Pd NPs/MOFs/木质纤维纸基复合材料的制备及其吸附-催化性能**

张莉莉、黄岳峰、马金霞、王志国

南京林业大学

纸基材料是指以纸为基材，经过某种加工或特殊处理后具有某种特定功能的材料。以纸基材料为柔性基材原位负载和调控金属催化剂形貌结构以提高金属催化活性，成为生物质原料高值化利用、金属催化剂环境友好制备和高效利用的重要途径。本工作提出了一种高强Pd NPs/MOFs/木质纤维纸基催化材料的高效制备方法。利用纸基材料中木质素的还原性，在UiO-66-NH2/LP和ZIF-8-NH2/LP表面原位负载了Pd NPs，制备得到两种具有“吸附-催化”协同效应的纸基复合催化材料（Pd NPs/UiO-66-NH2/LP和 Pd NPs/ZIF-8-NH2/LP）。结果表明，以木质素为绿色金属还原剂制备Pd NPs不会破坏UiO-66-NH2的结构并以Pd-O键和Pd-N键在表面牢固结合Pd NPs；此外，ZIF-8-NH2体系在Pd NPs还原时有明显的水解作用，Zn-N键断裂导致的水解作用使ZIF-8-NH2暴露出更多的活性位点，进而促进了Pd NPs的固载和分散。纸基复合催化材料中Pd NPs的负载可达2.2%，直径达7.86 nm。

关键字 纸基材料，金属纳米粒子，MOFs，催化反应

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

466

**纳米纤维素基电池电极、集流体和隔膜**

汪朝晖

湖南大学

高值化利用生物质资源与开发清洁能源都是化学领域的前沿热点课题，更是我国实施绿色发展战略的重要途径。使用地球上储量最丰富的天然高分子材料-纤维素，借鉴绿色环保的古老造纸工艺，研发纤维素纸电极和纸基电化学储能器件，可以成功地将上述两大国际前沿研究课题有机地结合起来，为实现绿色新能源和可持续发展社会提供了有益的参考。本报告总结了纳米纤维素在构筑高容量纸片电极、多功能隔膜和轻薄柔性集流体中的平台优势，提出了纳米纤维素生态可持续材料的发展前景与挑战。

关键字 锂电池电极；隔膜；集流体

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

467

**基于纤维素的高分子新材料:制备和功能化**

储富祥

中国林业科学研究院林产化学工业研究所，南京，210042

Email: chufuxiang@caf.ac.cn

摘要：纤维素是一种天然线性高分子，利用丰富的纤维素资源开发高分子新材料，是纤维素高值化利用的重要方向。报告总结了研究团队在纤维素高分子新材料研究方向上取得的最新工作进展，从纤维素的资源状况和天然结构特性出发，通过组装调控、化学改性、接枝修饰、可控自由基聚合、UV光聚合、3D打印等技术手段，开发了纤维素基弹性体、纤维素导电凝胶等系列高分子新材料，并探讨了材料制备的技术策略，阐明了纤维素结构特性对材料性能的影响规律，明确了材料功能化的实现途径及其影响因素，拓展了纤维素基功能材料在应变传感、摩擦纳米发电机等智能化领域中的应用，为纤维素的深度开发及高值化利用提供了重要的理论依据。

关键词: 纤维素，高分子新材料，可控聚合，大分子自组装

参考文献

1. Wang, J.; Zhang, D.; Chu, F., Wood-Derived Functional Polymeric Materials. Adv. Mater. 2021, 33 (28), 2001135.

2. Lu, C.; Wang, X.; Shen, Y.; Wang, C.; Wang, J.; Yong, Q.; Chu, F., Liquid-Free, Anti-Freezing, Solvent-Resistant, Cellulose-Derived Ionic Conductive Elastomer for Stretchable Wearable Electronics and Triboelectric Nanogenerators. Adv. Funct. Mater. 2022, 32 (46), 2207714.

3. Zhang, D.; Jian, J.; Xie, Y.; Gao, S.; Ling, Z.; Lai, C.; Wang, J.; Wang, C.; Chu, F.; Dumont, M.-J., Mimicking skin cellulose hydrogels for sensor applications. Chem. Eng. J. 2022, 427, 130921.

4. Lu, C.; Wang, C.; Yu, J.; Wang, J.; Chu, F., Two-Step 3 D-Printing Approach toward Sustainable, Repairable, Fluorescent Shape-Memory Thermosets Derived from Cellulose and Rosin. ChemSusChem 2020, 13 (5), 893-902.

5. Lu, C.; Wang, C.; Yu, J.; Wang, J.; Chu, F., Metal-free ATRP “grafting from” technique for renewable cellulose graft copolymers. Green Chem. 2019, 21 (10), 2759-2770.

6. Xie Y. et al. A multiscale biomimetic strategy to design strong, tough hydrogels by tuning the self-assembly behavior of cellulose. J Mater Chem A , 2022, 26, 10, 13685-13696.

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

473

**通过水调控实现多形态转变的多尺度纤维素基防火隔热材料**

尹崇翰、杨怀斌、韩子盟、杨昆鹏、凌张弛、管庆方、俞书宏

中国科学技术大学

人类的生活质量与建筑材料密切相关。在此，基于纤维素独特的流变性能，开发了一种可以通过水调节可以改变形态的纤维素基凝胶。该凝胶基于多尺度纤维素纤维和中空玻璃微球构建，具有防火和隔热功能。 这种多尺度纤维素基凝胶可以通过调节其含水量实现从分散液到凝胶再到黏土状变化，可以根据不同的场景和相应的需求实现涂层、泡沫、低密度板等多种施工形式，使它能适应实际应用场景的多样化，同时在一定程度上降低环境和人工成本。

关键字 仿生，多尺度结构，纳米纤维素

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

475

**受宣纸启发的多尺度纤维素膜材料**

杨昆鹏

中国科学技术大学

造纸技术是中国古代四大发明之一，其中宣纸是我国保存高级档案和史料的最佳用纸，是流传至今古籍珍本，书画墨迹，传统艺术的重要载体。其具有绵软坚韧，百折不损，光而不滑，吸水润墨，洁白稠密，纹理纯净，防腐防蛀的优点，制作工艺流程复杂，需经过100多道纯手工工序，故有“纸寿千年”、“纸中之王”的美称，居文房四宝之首。我们通过对传统宣纸的详细表征，探究了其高强度高韧性的微观机理。在宏观上，宣纸由青檀树皮和沙田稻草为原料经过严格的上百道工序制成。在微观上，我们发现宣纸内部具有大量的纳米纤维和微米纤维相互交织，形成了微米纳米多尺度的三维网络，这种仿生多尺度结构赋予了宣纸高强度，高柔韧性的力学优势。受宣纸多尺度结构的启发，我们通过将微米纤维素和纤维素纳米纤维组装成多尺度结构，制备了高性能高雾度透明薄膜。这种多尺度结构赋予了薄膜高强度、高韧性、高透光率、高雾度、极佳的柔韧性和可折叠性等优异的综合性能，并且可以通过Roll to Roll的工艺进行连续化大规模的生产。

关键字 多尺度结构 宣纸 透明膜 电子器件基底

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

480

**面向生物聚酯的网孔纳米纤维素复合材料**

王慧庆

合肥工业大学

生物聚酯如PLA等是近年热门环境友好材料，但存在强度低、耐热性不足、阻隔 性差等问题，阻碍了其应用进程。纳米纤维素具有比模量高、生物降解、膨胀系数低于而耐热性高于通用塑料等优点，但传统纳米纤维素制备成本高，且传统方法消除原料差异性，制得形态相似的低维化纳米晶或纳米纤维为主。本文以棉纤原料经动态镂刻法新技术，获得网孔化新结构纳米纤维素。棉纤从平滑空管上出现细微小孔→多孔管状结构→多孔筛状结构的演变过程(如图1a)，过程中比表面积逐渐增大达98m2/g，高于已报道纳米纤维素，该工艺产物得率高、纯化水用量小。该网孔纳米纤维素形貌上类似于细菌纤维素（BC），应用于生物聚酯PLA改性时，同纳米BC均表现出加速PLA结晶、诱导结晶能力(如图1b)，复合材料强度提高到49-65MPa(如图1c),维卡软化点可高达148-160℃(如图1d，e)，可用于热场合容器(如图1f)，此外PLA的氧气阻隔性从275可降低到10-12cm3/(m2·24h·0.1MPa)，将有利于推动纳米纤维素向生物质聚酯材料应用。

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

485

**纳米纤维素聚集组装与功能构筑**

陈文帅、王飞

东北林业大学

树木等植物经过在地球上的漫长进化，具备了极强的适应自然环境变化的能力。其独特的层级结构是支撑庞大的树木躯干并保证树木具有生物学功能的关键[1]。在微观层面，树木由细胞构成。细胞的主体物质存在于细胞壁中，主要以纤维素纳米纤丝—基体复合结构形式存在。这种纳米纤维素纤丝是自然界中储量最为丰富的聚合物纳米纤维材料[2]。因其可持续性和独特的结构优势，纳米纤维素近年来在环境、能源、新材料等领域展现出巨大的应用潜力。在报告中，将会首先介绍树木的层级纳米复合结构。在此基础上，介绍植物纳米纤维素的机械解纤法制备及其纳米结构特征[3]，以及如何利用纳米纤维素作为构筑单元开发纳米薄膜、水凝胶、气凝胶等宏观组装体以及相关组装体的功能化策略[4-5]。最后，将会重点介绍纳米纤维素衍生材料在水净化、空气吸湿、湿气发电等领域的应用进展。

参考文献：

[1]    Chen, W., Yu, H., Lee, S.-Y., Wei, T., Li, J., Fan, Z.\* Chemical Society Reviews 2018, 47 (8): 2837.

[2]    Kim, J.-H., Lee, D., Lee, Y.-H., Chen, W.\*, Lee, S.-Y.\* Advanced Materials 2019, 31: 1804826.

[3]    Wang, M., Sun, T., Wan, D., Dai, M., Ling, S., Wang, J., Liu, Y., Fang, Y., Xu, S., Yeo, J., Yu, H., Liu, S., Wang, Q., Li, J., Yang, Y.\*, Fan, Z.\*, Chen, W.\* Nano Energy 2021, 80: 105569.

[4]    Chen, W., Li, Q., Wang, Y., Yi, X., Zeng, J., Yu, H.\*, Liu, Y., Li, J. ChemSusChem 2014, 7 (1): 154.

[5]    Chen, L., Bai, L., Yeo, J., Wei, T.\*, Chen, W.\*, Fan, Z.\* ACS Applied Materials & Interfaces 2020, 12 (24): 27499.

关键字 木材，纳米纤维素，凝胶，薄膜，吸湿

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

491

**基于胆碱类低共熔溶剂处理的杨木化学浆纯化研究**

李鑫

齐鲁工业大学轻工学部

溶解浆是生产黏胶纤维或其他纤维素衍生材料的原料，浆中半纤维素含量高，会增多在碱化后二硫化碳的消耗量，因此降低半纤维素的含量，有助于减少环境污染，降低成本，而粘胶纤维它又对溶解浆的α-纤维素含量、粘度、反应性能等性质有着严格的要求。通过精制漂白杨木化学浆来制备溶解浆成为了学者们研究的方向，本论文将低共熔溶剂作为去除漂白杨木浆板中半纤维素的重要媒介，重点探究其对化学浆处理后α-纤维素含量、粘度、反应性能、结晶度、纤维表面形貌等方面的影响，为下一步的实验生产溶解浆做出启示。

研究表明：16组试样中，氯化胆碱-乙二醇(1：2)在90℃、45min条件下处理的浆料的α-纤维素含量最高，从原浆的87.9%达到90.71%，已经达到粘胶级溶解浆的要求。相比于原浆（α-纤维素含量87.9%，聚戊糖15.7%、粘度730mL/g、反应性能37.0%、碱溶解度S18：9.8%、S10：14.3%），氯化胆碱-乙二醇（1：2）在90℃、45min条件下处理的浆料粘度较大（705mL/g），反应性能相对较低（25.637%），聚戊糖含量14.08%，碱溶解度S18：7.6%、S10：10.7%。此条件下处理得到的溶解浆可以用于生产普通粘胶纤维。而在氯化胆碱-乳酸（1：10）、氯化胆碱-甲酸（1：2）在90℃、45min处理后反应性能提升显著，分别从37.14%达到72.04%和75.45%，粘度降低也十分显著分别从730mL/g降低到302mL/g和285mL/g。

关键字 低共熔溶剂 杨木化学浆 分离纯化 溶解浆

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

507

**机械化学法“一步”制备醋酸纤维素**

李培尧

四川大学

据估计，纤维素年产量约为2000亿吨，且兼具可再生、可生物降解等特性，具有取代传统石油基高分子材料，解决“白色污染”问题的巨大潜力。但纤维素中密集的氢键网络使其具有“难溶难熔“的特性，这极大的限制了纤维素的有效利用。与传统的溶液加工相比，机械化学的方法简单、高效、环保。本实验中，相比于其他脂肪酸，MCC+TFAA+AC理论上具有最高的反应活性，可极大的提高反应效率，增加纤维素用量。本文中，产物的FTIR和NMR结果表明本实验成功制备了醋酸纤维素，其中取代度最高可达DS=2.38，其中纤维素的含量大于Wcellulose>61.2%，在衍生化过程中，调控机械外场条件和物料配比能改变醋酸纤维素侧链的取代度，进而影响醋酸纤维素的热塑性，FTIR-Online结果表明，机械化学法制备的醋酸纤维素分子内残留的氢键在升温过程中会大幅降低，OM结果表明，在升温过程中，醋酸纤维素在局部较小区域产生了熔融的行为，本文可以为纤维素的熔融加工提供一种有效的方法。

关键字 纤维素；机械化学；熔融加工；热塑性

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

508

**一步法制备热塑性纤维素酯及纤维素酯熔融机理探究**

李梦蕾

四川大学

纤维素的结构严重影响了其利用率，要想大幅提高利用率和应用范围，化学改性方法是最有效的方法。常用的化学改性通常需要使用大量的溶剂，不利于实际应用。本研究采用机械球磨法，利用球磨过程中产生的瞬时高能，无需添加额外的溶剂和催化剂，就能一步制备出了取代度为2.51~2.89的纤维素硬脂酸酯。随后，选择了不同结构的酯化剂，分别为直链、支化和带有苯环的侧基。制备了对应的纤维素酯并且分析了其熔融行为。由于长直链侧基会发生结晶，因此直链纤维素酯的起始熔融温度较低，熔程较长。带苯环的侧基由于侧基之间的弱相互作用影响了链段的流动，因此该纤维素酯的起始熔融温度较高。而支化的侧链没有以上影响，其起始熔融温度较低，并且很快就能实现完全熔融。以上研究结果为纤维素的熔融加工提供了指导。

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

512

**环境友好型纤维素基辐射制冷材料的研究**

陈礼辉

福建农林大学

利用自然界中广泛存在的纤维素，开发设计绿色环保型辐射制冷材料，不仅可以实现纤维素的功能化设计与应用，还可以降低能源消耗，为我国“双碳”战略目标的早日实现提供新思路和手段。基于制浆造纸过程的纤维打浆、无机材料加添以及湿法成型技术，在微纤维化的纤维素纤维表面引入羟基磷灰石纳米颗粒，构建辐射制冷纤维纸。辐射制冷纤维纸具有94%的太阳光反射率和0.95红外光发射率，可以实现白天8°C的降温效果。通过加热搅拌可以实现二者的充分分离并进一步构建二次的纤维纸，且其仍然具有优异的辐射制冷性能。通过调控纤维素纤维的尺寸，采用纳米纤维素可以构建高强度、高柔韧性的辐射制冷纤维素材料，具有80 MPa的拉伸强度，远远高于已经报道的大多数辐射制冷材料。通过表面输水改性，可以赋予辐射制冷纤维素材料自清洁能力，实现其性能的长期稳定性。

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

517

**木质素-3-（2-羟苯基）丙酸酯化学及材料性质研究**

郭元龙

贵州大学

木质素是富含苯环结构，取之不尽、用之不竭的天然高分子聚合物资源。[1]实现木质素结构与性质的有效调控被认为是解决其利用率低，拓展其应用的重要途经。本论文巧妙利用木质素含有大量脂肪族羟基结构特点，创新性提出通过木质素与二氢香豆素的转酯化反应，制备新型木质素-3-(2-羟苯基)丙酸酯，[2]研究反应动力学，揭示其结构与性质之间的构效关系，发展新型酚化木质素制备方法学；进一步研究以木质素-3-(2-羟苯基)丙酸酯为材料构筑单元，以曼尼希缩合反应为模型反应，研究反应动力学、材料结构与性质，揭示新型木质素基曼尼希碱、苯并噁嗪树脂材料化学结构、性质之间的演变规律，建立与发展木质素可控衍生化与功能化及性质调控新理论与新技术，阐明其通过后修饰策略制备木质素衍生新材料的潜能，为木质素高效利用、绿色功能材料设计与可控制备、发展循环经济提供理论指导与技术支撑，具有重要的科学价值与社会效益。

参考文献：

[1] 黄进、付时雨, 木质素化学及改性材料. 化学工业出版社: 北京, 2014.

[2] Guo, Y.; Li, L.; Guo, G.; Pei, M.; Zhang, L.; Xie, H.; Sun, H.; Zheng, Q., Synthesis of a fully biobased cellulose-3-(2-hydroxyphenyl) propionate ester with antioxidant activity and UVresistant properties by the DBU/CO2/DMSO solvent system. Green Chem. 2021, 23 (6), 2352.

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

521

**纤维素的构效调控转化与功能利用**

于海鹏

东北林业大学

围绕林木生物质精炼与科学利用的基础科学问题，从分子层面挖掘纤维素的内涵和功能利用途径，阐释纤维素高效解聚分离的科学方法和实现功能化的科学策略，揭示分子键合调控的内在规律，发明出高长径和功能化纤维素的多种制备方法，构建了可室温溶解纤维素的低成本溶剂并解析其溶解机制，发明了纤维素基超薄离子凝胶膜的快速制备策略，实现了通过纤维素分子构象调控构建轻质高强的生物基可降解塑料材料，有望在建筑和工程材料领域应用。以上研究成果在Nature Synthesis、Nature Communications、Advanced Materials、Green Chemistry等期刊。

参考文献：

[1] Dawei Zhao, Ying Zhu, Wanke Cheng, Guangwen Xu, Qingwen Wang, Shouxin Liu, Jian Li, Chaoji Chen\*, Haipeng Yu\*, Liangbing Hu\*. A dynamic gel with reversible and tunable topological networks and performances. Matter, 2020, 2(2), 390-403.

[2] Dawei Zhao, Ying Zhu, Wanke Cheng, Wenshuai Chen, Yiqiang Wu\*, Haipeng Yu\*. Cellulose-based flexible functional materials for emerging intelligent electronics. Advanced Materials, 2021, 33, 2000619.

[3] Geyuan Jiang, Gang Wang, Ying Zhu, Wanke Cheng, Kaiyue Cao, Guangwen Xu, Dawei Zhao\*, Haipeng Yu\*. A scalable bacterial cellulose ionogel for multisensory electronic skin. Research, 2022, 2022, 9814767.

[4] Dawei Zhao, Bo Pang, Ying Zhu, Wanke Cheng, Kaiyue Cao, Dongdong Ye, Chuanling Si, Guangwen Xu, Chaoji Chen\*, Haipeng Yu\*. A stiffness-switchable, biomimetic smart material enabled by supramolecular reconfiguration. Advanced Materials, 2022, 34(10): 2107857.

[5] Zhihan Tong, Wen Wang, Suqing Zeng, Yaxu Sun, Juan Meng, Yongzhuang Liu, Qinqin Xia, Haipeng Yu\*. Hydrogen bond reconstruction strategy of eutectic solvents that realizes room temperature dissolution of cellulose. Green Chemistry, 2022, 24(22), 8760-8769.

[6] Ying Zhu, Youhong Guo, Kaiyue Cao, Suqing Zeng, Geyuan Jiang, Yongzhuang Liu, Wanke Cheng, Wenjing Bai, Xuanli Weng, Dawei Zhao\*, Haipeng Yu\*, Guihua Yu\*. A general strategy for synthesizing biomacromolecular ionogel membranes via solvent-induced self-assembly. Nature Synthesis, 2023.

[7] Shan Chen, Geyuan Jiang, Jianhong Zhou, Gang Wang, Ying Zhu, Wanke Cheng, Guangwen Xu, Dawei Zhao\*, Haipeng Yu\*. Robust solvatochromic gels for self-defensive smart windows. Advanced Functional Materials, 2023, 2214382.

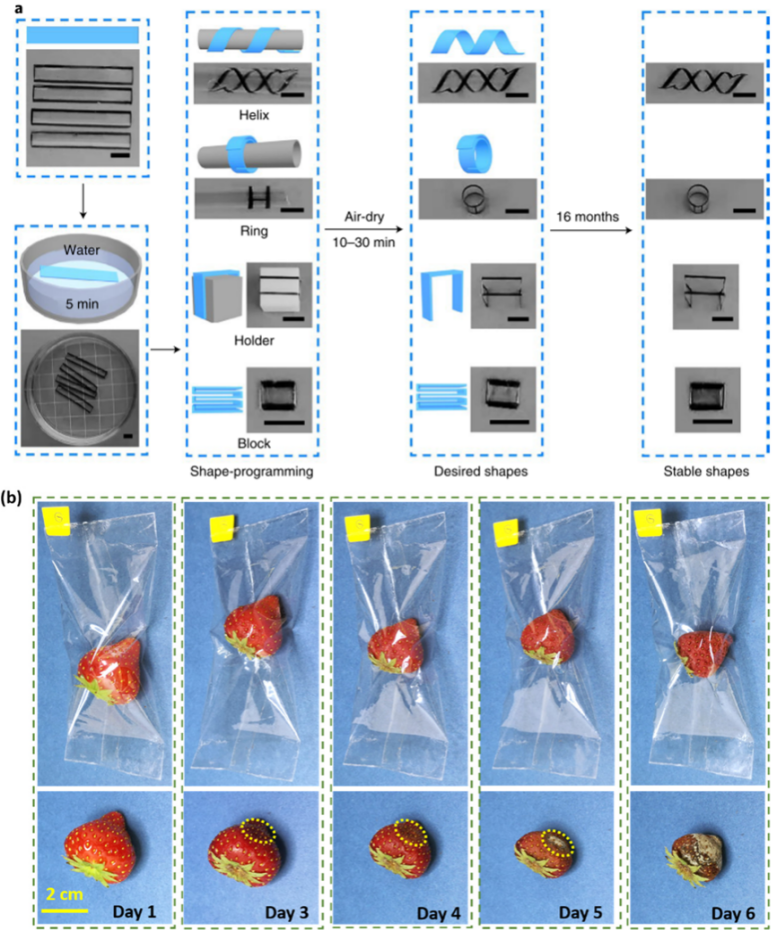
分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

529

**纤维素基塑料的结构与应用**

王加秀，安徽大学, 合肥, 230601

塑料为我们提供了诸多便利，但其生产、使用和处理的不可持续性，对环境和人类健康构成了威胁，将围绕纤维素基塑料的结构和应用进行交流和讨论。塑料的环保加工方法，是亟待解决的重要基础问题之一。基于纤维素，我们制备了一种水塑性聚合物（纤维素肉桂酸酯），可通过水固方法实现塑料的环境友好、可持续的加工。该水塑性高分子薄膜通过该方法可被加工成各种二维或三维形状，这些形状可保持稳定长达16 个月。已成型的形状仍可用该方法重新编程为其他 2D/3D 形状，延长塑料的实际使用寿命。该纤维素基塑料力学性能优异，超过日常使用的大部分塑料。此外，我们利用纤维素肉桂酸酯实现了一种自复合的纳米复合薄膜，即由同一种高分子获得了纳米颗粒、高分子基质两种结构，这两种结构相互嵌合，形成结构致密、相容性极高的结构。这种独特的结构赋予膜很好的力学性能和阻隔性能（水蒸气、氧气、油），故可被用作食品包装材料。该自复合薄膜还表现出紫外线屏蔽功能、光热转换特性以及较好的耐热性等，具有多样化应用前景。综上，纤维素基塑料在未来塑料领域具有较大的发展空间。



纤维素基塑料

参考文献：

1. **Jiaxiu Wang**, Lukas Emmerich, Jianfeng Wu, Philipp Vana, Kai Zhang\*, Hydroplastic polymers as eco-friendly hydrosetting plastics, **Nature Sustainability**, 2021, 4, 877-883.
2. Yuan, L., Buzoglu Kurnaz, L. & Tang, C.， Alternative plastics. **Nature Sustainability**, 2021, 4, 837-838.
3. **Jiaxiu Wang**, Yu Cao, Bea Jaquet, Christoph Gerhard, Wei Li, Xiaodong Xia\*, Judith Elisabeth Rauschendorfer, Philipp Vana, Kai Zhang\*, Self-compounded nanocomposites: Toward multifunctional membranes with superior mechanical, gas/oil barrier, UV-shielding and photothermal conversion properties, **ACS Applied Materials & Interfaces**, 2021, 13, 28668-28678.

分类：主题 A 纤维素基材料的结构和应用

536

**氯化锌/MXene插层的复合纤维素凝胶设计及多功能应用**

张雄飞，舒恋，李梦洁，姚建峰\*

南京林业大学，南京 210037

\*  [jfyao@njfu.edu.cn](mailto:jfyao@njfu.edu.cn)

近年来，纤维素凝胶已成为储能、柔性装置、水净化、医药、食品包装和农业等领域的重要基材。无机盐水合物是一类重要的纤维素溶剂，基于溶剂保留的“特洛伊木马”设计策略，可实现纤维素溶解与水凝胶制备的结合。金属离子在纤维素基体中的均匀分布使水凝胶具有优异的离子导电性、可调的力学性能和较宽的耐温性。本研究以脱木质素的木材纤维素为骨架，浓缩的ZnCl2溶液作为溶解液，经反应后，木材纤维素再生和解离形成水凝胶。同时，Zn2+离子通过破坏MXene纳米片之间的电荷平衡而成为MXene剥落的有效媒介，MXenes和Zn2+离子的存在可以使复合水凝胶具有显著的机械性能、导电性、稳定性、温度响应和光响应能力。高浓度的氯化锌赋予木材水凝胶卓越的抗冻性能，即使在-20 °C下也能保持弹性和导电性。MXene的引入赋予复合水凝胶多功能性，复合水凝胶作为传感器表现出49.7 MPa-1 的灵敏度，可在低温下检测人体运动产生的信号。得益于水凝胶中高含量的离子浓度和MXene的导热性，水凝胶传感器在温度感应和光响应方面表现出巨大的潜力。这种智能水凝胶可作为多功能平台，如医疗保健监测和可穿戴电子设备。本研究为未来研究提供了方向，有助于加速纤维素基凝胶领域的研究及在压力传感，温度响应和光响应中的应用。

参考文献：

X.F. Zhang, X.F. Ma, T. Hou, K.C. Guo, J.Y. Yin, Z.G. Wang, L. Shu, M. He, J.F. Yao, Inorganic salt induce thermal reversible and anti-freezing cellulose hydrogels, Angew. Chem. Int. Ed. 2019, 58, 7366-7370.

L.Y. Yang, L. Yang, D.L. Dai, J.F. Yao, Comprehensive utilization of lignocellulosic biomass for electrode and electrolyte in zinc-ion hybrid supercapacitor, J. Mater. Chem. A, 2022, 10, 24208-24215.

X.F. Zhang, Z. Wang, M. Ding, Y. Feng, J. Yao, Advances in cellulose-metal organic framework composites: preparation and applications, J. Mater. Chem. A, 2021, 9, 23353-23363.

L. Shu, X.F. Zhang, Z.G. Wang, J.F. Yao, Structure reorganization of cellulose hydrogel by green solvent exchange for potential plastic replacement, Carbohyd. Polym. 2022, 275, 118695.

L. Shu, Z.G. Wang, X.F. Zhang, J.F. Yao, Highly conductive and anti-freezing cellulose hydrogel for flexible sensors, Int. J. Biol. Macromol. 2023, 230, 123425.

L.Y. Yang, L. Song, Y. Feng, M.J. Cao, P.C. Zhang, X.F. Zhang, J.F. Yao, Zinc ion trapping in a cellulose hydrogel as a solid electrolyte for a safe and flexible supercapacitor, J. Mater. Chem. A 2020, 8, 12314-12318.

Y.H. Bai, X.F. Zhang, Z.G. Wang, T.R. Zheng, J.F. Yao, Deep eutectic solvent with bifunctional brønsted-lewis acids for highly efficient lignocellulose fractionation, Bioresour. Tech. 2022, 347, 126723.

Z.G. Wang, L. Song, Y.Q. Wang, X.F. Zhang, D.D. Hao, Y. Feng, J.F. Yao, Lightweight UiO-66/cellulose aerogels constructed through self-crosslinking strategy for adsorption applications, Chem. Eng. J. 2019, 371, 138-144.

分类：主题 B 纳米纤维素的基础理论和功能

11

**强韧一体化纳米纤维素手性光子材料**

熊锐

四川大学

     纳米纤维素可通过液晶自组装技术构筑出多级手性光子结构，具有圆二色性和手性结构色等光学特性，在光学器件、生物传感器、防伪和激光等领域具有独特的应用。然而，由于缺乏结构设计和界面作用优化，在组装过程中易产生缺陷，造成力学强度和柔性极差，极大限制了其实际应用。天然结构材料（比如贝壳，甲壳类动物外骨骼）不仅具有多尺度的增强增韧机制，还可高效地调控光与物质相互作用，是实现强韧结构性和独特手性光子特性统一的典范设计。 受天然结构材料的启发，我们提出了多种强韧结构协同序构的新思想和基于预设仿生模板仿生矿化的新途径。通过手性结构与其他的强韧结构的精准序构，以及多尺度的均一连续矿化，可完整保留手性光学性能且同时大幅度提高材料的强度和韧性，制备出高强度和高韧性的纤维素手性光子薄膜。

关键字 纳米纤维素， 手性光子材料，高强度，有序组装，仿生矿化

分类：主题 B 纳米纤维素的基础理论和功能

18

**纤维素纳米晶的表面修饰及在自修复水凝胶柔性传感器中的应用**

柏良久、岳东琦、侯泽华、王文香、陈厚

鲁东大学

具有优异柔韧性和生物相容性的水凝胶材料在虚拟电子、柔性监测、电子皮肤等可穿戴柔性传感领域具有广阔的发展前景。针对传统水凝胶存在的机械性能差、易断裂等缺陷，发展具有自修复、抗冻等功能的生物质基纳米复合水凝胶是我们关注的焦点。从植物中提取的纤维素纳米晶具有来源广泛、强度模量高、表面功能基团丰富等优点，团队聚焦纤维素纳米晶表面的精密修饰，结合Pickering乳液技术、原子转移自由基聚合、仿贻贝化学等方法发展了纤维素纳米晶的表面改性技术，实现了对纤维素纳米晶表面的可控、精密修饰。将其植入聚赖氨酸、黄原胶、瓜尔胶等生物质基材中设计了纤维素纳米晶基纳米复合水凝胶，研究了水凝胶的自修复和抗冻性能。发展出多种兼具生物相容性好、自修复性能优异、机械强度高的纳米复合生物质水凝胶。同时探究其在可穿戴柔性传感领域的应用能力，通过感知和修复外界损伤，显著延长了传感器使用寿命，降低使用风险，探究其自修复性能、电学性能和机械性能的同步提升，制备出了灵敏度高、适用范围广的可穿戴型柔性传感器。

关键字 纤维素纳米晶；自修复；水凝胶；传感器

分类：主题 B 纳米纤维素的基础理论和功能

21

**基于表面接枝纤维素纳米纤维的纳米复合材料**

陈斯恺

西南交通大学

纤维素纳米纤维（CNF）是天然植物纤维经过分离后得到的一种纳米纤维。其在保持了原本的可再生性与可自然降解性的同时，还具有一系列优异性能。CNF作为一种高性能，可再生的二维纳米材料，以CNF为增强相制备高性能纳米复合材料具有显著前景。然而将CNF与聚合物基材简单共混通常分散困难，界面作用弱，复合材料性能严重受限。纤维素表面存在大量羟基，为接枝改性提供了充足的反应位点。本研究通过表面引发活性聚合方法，制备了全部以共价键链接增强相与基材的表面接枝CNF，并构筑一系列具有不同接枝结构的单组分纳米复合材料。相较于单纯共混二元复合材料，单组分纳米复合材料的热，力性能都有显著改善。进一步通过调控CNF表面基团，接枝链长度和接枝密度等参数，系统研究了单组分纳米复合材料的接枝链与材料性能的关系。在这些工作基础上，利用活性自由基聚合特点，还设计制备了具有嵌段结构的表面接枝CNF，丰富了单组分复合材料的增强机理，并构筑一系列兼具强度与韧性的高性能嵌段接枝CNF单组分纳米复合材料。

关键字 纤维素纳米纤维 接枝聚合 纳米复合材料

分类：主题 B 纳米纤维素的基础理论和功能

32

**纳米纤维素在全水相Pickering乳液体系的构建与调控**

刘石林

华中农业大学

水包水(W/W)乳液只有水作为溶剂，因其不含有任何有机试剂或表面活性剂，良好的生物相容性使其成为细胞和生物活性物质在全水相环境中的绝佳平台[1]。由于W/W乳液体系具有极低的界面张力（10-6 N/m）和较大的界面厚度（几到十几纳米），难以通过小分子表面活性剂分子来稳定，将固体颗粒吸附于水-水界面上，形成一个空间能障，阻止乳液聚并，即可构建稳定的W/W Pickering 乳液。本研究通过调控纳米纤维素的尺寸、表面电荷等，探讨了其在W/W Pickering乳液体系构建中的应用，如图1所示。制备的纳米纤维素的 Zeta 电位为 -44.16 ± 0.98 mV，平均宽度为 105.11 ± 11.93 nm，研究发现纳米纤维素倾向于吸附于水-水界面，通过空间障碍抵抗液滴的聚结。该乳液体系具有良好的生物相容性，在微生物细胞的包埋、培养以及递送等领域具有独特的效果。

关键字 纳米纤维素，全水相乳液，包埋，递送

分类：主题 B 纳米纤维素的基础理论和功能

40

**纤维素纳米晶稳定皮克林乳液及其应用**

张振

华南师范大学

皮克林（Pickering）乳液是采用与油水两相都具有部分润湿性的固体颗粒稳定的乳液，和传统的表面活性剂稳定的乳液相比，具有稳定性好、绿色环保和生物相容性好等优点，在胶体体、微胶囊、药物释放、石油开采、食品和化妆品等领域具有广泛的应用前景，收到了科研和产业界的广泛关注。纤维素纳米晶（CNC）已经被证实为一种优异的皮克林乳化剂，基于CNC稳定的Pickering乳液，可以构筑多种功能复合材料[1-7]，比如（1）实现CNC在聚合物基体中的分散，制备CNC增强的聚合物材料；（2）以CNC稳定的Pickering乳液为模板构筑胶体体和中空微胶囊，应用于药物的控制释放；（3）制备相变材料微胶囊，通过热能存储和温度调控，应用于绿色建筑和电子产品等；（4）包覆温度响应的胆甾性液晶，应用于热致变色涂层和防伪；（5）包覆自愈合剂，构筑高透明度、高雾度的自愈合涂层；（6）促进氧化石墨烯或MXene等二维材料在油水界面的固定等。

关键字 纤维素纳米晶，皮克林乳液

分类：主题 B 纳米纤维素的基础理论和功能

43

**纤维素纳米晶的聚多巴胺包覆调控其手性液晶行为以及多重仿生手性光子薄膜的制备**

张珍坤

南开大学

纤维素纳米晶(Cellulose Nanocrystalline, CNC)在构建新型功能材料方面的应用近几年引起了广泛的关注[1]。CNC功能材料的许多独特性能依赖于其能够形成手性向列型液晶这一特殊的溶液行为，理解和调控CNC的手性液晶行为是进一步深化CNC应用的关键[2]。利用多巴胺能够通过氧化自聚在任何形状颗粒表面形成聚多巴胺 (Polydopamine, PDA)涂层的特点[3]，我们发展了一种在CNC表面包覆一层厚度可控的聚多巴胺涂层以制备CNC@PDA复合纳米粒子的方法。在此基础上研究了PDA壳层厚度对CNC形成手性液晶行为的影响[4]。我们发现在一定的PDA涂层厚度之下，CNC@PDA仍然能形成手性液晶。同时，随着涂层厚度的逐步增加，CNC@PDA形成的手性液晶的螺距呈现增大趋势，表明颗粒间的手性相互作用逐步削弱。多次包覆以后所得CNC@PDA只能形成普通的向列型液晶相。对这些现象的初步理解是聚多巴胺的包覆改变了CNC原有的表面手性拓扑结构或者电荷性质，从而影响颗粒间的手性相互作用，使其不能形成手性液晶。这些结果有助于理解CNC手性液晶的起源。以CNC@PDA为唯一构建基元，我们制备了基于CNC@PDA的手性光子薄膜并对其光学性能和多种功能进行了详细表征[5]。基于CNC@PDA的光子薄膜展示出了视角依赖性的绚丽色彩。其特征不同于众多文献中基于纯CNC的同类手性光子材料，而是融和了鸟类如孔雀和一些金属甲虫的生色机理。例如，基于CNC@PDA手性光子薄膜的艳丽颜色不依赖于所处的背景同时具有金属光泽。其次，这类光子薄膜也是通过选择性反射左旋偏振光及布拉格反射干涉来显示颜色，让其具备了在手性光学领域的应用潜能。此外，通过简单改变CNC@PDA的PDA壳层厚度，就可以调控所得光子薄膜材料的颜色。

关键字 纤维素纳米晶；聚多巴胺；手性液晶；表面改性；手性光子薄膜

分类：主题 B 纳米纤维素的基础理论和功能

53

**纤维素纳米晶高效制备及应用探索**

张建明、刘云霄、周立娟

青岛科技大学

纤维素纳米晶是从天然纤维素中提取出的一维纳米材料，具有优异的机械性能、大比表面积、优异的生物降解性和生物相容性等特点，作为一类具有广泛应用前景的材料得到了广泛的研究。目前，CNCs通常以酸水解和氧化水解等方式获得。酸水解是一种广泛使用的高效方法，但存在设备腐蚀和环境污染方面的缺点。尽管近年来基于酸解和氧化水解衍生出了多种新方法、新工艺，但难以兼顾绿色、高效和节能的属性。

为此，我们提出了NaOH颗粒活化过硫酸铵（APS）氧化法制备CNCs的方法[1]，实现了CNCs的制备由小时到分钟级的突破。NaOH以固体颗粒的形式加入，可以有效地利用NaOH的溶解放热现象加速制备过程，从而降低CNCs制备过程中的能耗。最终在50 °C的预设温度下，仅经过2分钟的氧化过程即高产率（53.14%）地提取CNCs。此外，该方法还可以从多种农业残渣中提取CNCs，以实现农作废弃物的高值化利用。我们随后探究了所制备的CNCs在Pickering乳化、水处理和成核剂等方面的应用[2,3]。

关键字 纤维素纳米晶，过硫酸铵，高效制备

分类：主题 B 纳米纤维素的基础理论和功能

80

**全纤维素基柔性光子晶体薄膜**

王婷、王溢丰、李云飞、杨晗

中国科学院大学

       纤维素纳米晶体是从天然纤维中提取的一种杆状纳米粒子，且能自组装形成具有手性向列液晶结构的虹彩薄膜[1]。然而，这些薄膜通常是十分脆弱的，不能被拉伸弯曲而不破裂，这一缺点极大的限制了纤维素纳米晶体薄膜的应用。虽然通过添加一些聚合物可以改善纤维素纳米晶体薄膜的柔韧性，然而要么干扰纤维素纳米晶体的自组装而失去结构色，要么会降低复合薄膜的生物相容性以及能被降解的可能性[2]。我们利用改性的另一种纤维素纳米粒子，即纤维素纳米纤维，来优化纤维素纳米晶体薄膜的机械性能，制备出同时具有结构色和良好柔韧性的薄膜。通过调整纤维素纳米纤维的含量及表面性质，我们获得了红、绿、蓝色且可折叠的全纤维素基光子晶体薄膜，其具有和纤维素纳米晶体薄膜相当的杨氏模量，但拉伸应变增加了5倍，且拉伸强度也提高到70 MPa。我们所制备的这些全纤维素基薄膜，有望用于对环境和人体友好的电子皮肤、柔性传感器件以及可降解的防伪材料等诸多领域。

关键字 纤维素纳米晶体，纤维素纳米纤维，光子晶体，柔性薄膜，结构色

分类：主题 B 纳米纤维素的基础理论和功能

100

**竹基纳米纤维素纺丝成型工艺研究**

田文港

赣南师范大学

随着经济高速发展和城市化、工业化进程的加快，科学与技术已趋向可再生原料以及环境友好、可持续发展的方法和过程[1]。纤维素作为地球上最丰富的高分子材料，其产量约为1010-1011吨/年，具有来源丰富、生物可降解、生物相容性和易衍生化的特点，将成为未来的主要化工原料之一。其中，纳米纤维素具有纳米级尺寸和极高机械强度，以及比玻璃纤维更低的密度和易于化学改性的表面，有望成为石油基等不可再生资源的理想替代品。值得注意的是，由纳米纤维素制备宏观材料的性能与其优异的理论值相差甚远，一直以来，如何使得这些具有卓越性能的天然高分子纳米材料在实际应用中得到充分展现是科研工作者长期追求的目标，目前仍面临诸多挑战。

基于此，本工作采用TEMPO氧化的方法制备竹基纳米纤维素[3]，并在不同有机溶剂中通过湿法纺丝成型工艺制备宏观纤维素纤维。使用扫描电镜（SEM）观察不同有机溶剂中成型的宏观纤维，结果表明，丙酮在SEM形貌结构表征中，表面缺陷最少，致密性最强，截面也最类似圆形。

关键字 天然高分子，纤维素，纳米纤维素，TEMPO氧化

分类：主题 B 纳米纤维素的基础理论和功能

111

**结晶多糖晶体中的伦敦色散力和氢键相互作用**

李怡薇1、祁海松2、Yoshiharu Nishiyama3、陈攀1

1. 北京理工大学材料科学与工程学院，北京市纤维素及其衍生物工程技术中心，北京100081

2. 华南理工大学制浆造纸工程国家重点实验室，广州510640

3. Université Grenoble Alpes，CNRS, CERMAV，法国 格勒诺布尔，38000

分子间/内非共价键相互作用是理解纤维素晶体的结构稳定性和物理性质的基础。传统观点认为纤维素中的氢键结构主宰分子间相互作用，导致其具有高杨氏模量，并很难溶解于常规溶剂。通过低维片段切分法和色散校正相互作用，基于密度泛函理论计算的能量分解得出天然纤维素中的分子间和分子内色散力分别为79 和 62 kJ每摩尔葡萄糖环；而基于羟基旋转的单点能计算得出分子内和分子间氢键分别为50和31 kJ每摩尔葡萄糖环，与其单体和二聚体中的氢键强度相当，从而证明：从内聚能能量成分分析的角度出发，天然纤维素结晶体中伦敦色散相互作用大于氢键，纤维素其他晶型和甲壳素均遵循同样的原理。因此在纤维素晶体解聚集、降解和溶解过程中，除却氢键的贡献，伦敦色散相互作用也应被重点考虑。

关键字 伦敦色散相互作用；氢键作用；密度泛函理论；能量分解

分类：主题 B 纳米纤维素的基础理论和功能

122

**双乙酰木聚糖纳米晶的制备与表征**

李潜龙、桑燊、项舟洋

华南理工大学

木聚糖是阔叶木及草本植物木质部中最主要的半纤维素种类，储量丰富。植物细胞壁中的木聚糖受支链及乙酰基的影响具有无定形的结构，而经溶剂分离或衍生化制备的木聚糖可以形成结晶结构。例如脱乙酰木聚糖可以与水分子作用形成木聚糖水合晶结构，衍生化制备的所有羟基都被乙酰基取代的木聚糖能够形成双乙酰木聚糖晶体结构。对木聚糖晶体进行纳米化加工能够极大地拓展木聚糖晶体在先进材料中的应用。例如木聚糖水合纳米晶已经被用于高效制备 Pickering乳液，或分散碳纳米管制备导电涂料。双乙酰木聚糖由于羟基都被乙酰基取代，具有较强的疏水性能，故其纳米晶具有独特的性能及广泛的应用领域，然而，当前对双乙酰木聚糖纳米晶的制备与表征的研究不充分。在本研究中，我们通过合成双乙酰木聚糖，采用降温结晶法及水析结晶法，成功制备了双乙酰木聚糖纳米晶。采用纳米粒度仪、原子力显微镜、透射电镜、冷冻电镜等方法，表征了双乙酰木聚糖纳米晶的形态、尺寸与表面形貌。本研究将为双乙酰木聚糖纳米晶的制备与应用提供理论基础

关键字 木聚糖；乙酰化；结晶；纳米晶；形貌

分类：主题 B 纳米纤维素的基础理论和功能

166

**纤维素亚纳米丝带的制备、特性及潜在应用**

宋君龙、王清诚、郭家奇、朱文远

南京林业大学

纳米纤维素（CNC和CNF）其最小尺寸都局限在原纤丝以上。由于纤维素结晶区结构的致密性，对原纤丝的进一步解离充满挑战，鲜少有人研究。我们发现，利用冰醋酸这种酸性的极性有机溶剂并协同双氧水的氧化作用，能削弱纤维素分子链之间的结合力，最后结合超声分散，能够实现纤维素亚原纤丝结构的有效拆解，并成功制备了分子层厚度的纤维素纳米丝带（Cellulose nano Ribbon，CR）。研究结果表明：在浸渍过程中，两种溶剂通过极性渗透和氧化作用于纤维的亲水晶面，延长浸渍的时间，晶面（110）的晶面间距显著增大，同时减弱晶面（11̅0）内部的氢键作用；在超声过程中，晶面（11̅0）的晶面间距被进一步增大，使得更多的纤维沿此晶面滑移得到CR；当超声时间为120 min时，CR的长度为1.47±0.48 μm，高度为0.8±0.4 nm，对应1~3层纤维素分子层。CR的热力学稳定性略有下降，但CR的粘度比其大2个数量级以上，储能模量高，在0.3%的浓度下就达到了凝胶的状态；CR对纤维素酶吸附域的亲和力较低，表现出超级亲水的性能，也验证了CR是从亲水面剥离的。但只有分子层厚度CR的微观力学性能并没有显著下降，相反，CR的扭结处杨氏模量高达36 GPa，表现出柔韧的性能。CR在稳定的Pickering乳液和3D打印中体现出显著的性能。

关键字 纳米纤维素；剥离；皮克林乳液；3D打印

分类：主题 B 纳米纤维素的基础理论和功能

169

**部分脱除木质素对油菜秸秆纳米化解纤效率的影响**

黄大勇、吴敏、黄勇

中国科学院理化技术研究所

秸秆材料主要成分为纤维素、半纤维素以及木质素，同时还包含少量果胶、蜡质、灰分等。纤维素、半纤维素以及木质素之间以酯键、醚键等共价键以及氢键、范德华力等结合在一起，而秸秆材料的纳米化实质上主要是破坏纤维素分子内与分子间的氢键网络结构进而进行解纤成为纳米纤丝[1-2]。基于此，在秸秆材料纳米化过程中若能调控三组分之间的相互作用力，促进纤维素氢键网络结构的破坏，则可实现木质纳米纤维素的高效率制备。本工作以油菜秸秆为原料，通过氧化预处理结合球磨与高密度超声处理的方式，调控秸秆材料组分含量进而调控组分间相互作用关系，同时实现秸秆材料的高效率、纳米化解纤。研究表明，部分脱除木质素会对秸秆纳米化效率产生较大影响。通过优化实验条件，木质纳米纤维素的产率最高可达92%，纤维直径分布在2-10 nm。

关键字 脱木素，秸秆，纳米化，解纤

分类：主题 B 纳米纤维素的基础理论和功能

177

**纤维素纳米纤丝浓缩脱水过程结构表征**

高文花

华南理工大学

纤维素纳米纤丝悬浮液的制备浓度一般为0.1~3.0wt%，较低的浓度增加了运输和存储成本，限制了其商业化的应用。本研究以漂白硫酸盐植物纤维为原料，通过超微粒粉碎机机械研磨制备成浓度约为1.0wt%的纤维素纳米纤丝悬浮液。采用离心方法将纤维素纳米纤丝悬浮液脱水，浓缩后纤维素纳米纤丝标记为1-CNF。再将1-CNF样品稀释后通过高速分散机分散，并再次脱水以获得再次浓缩的纤维素纳米纤丝标记为2-CNF。结果表明，与未浓缩的纤维素纳米纤丝相比，再分散CNFs的悬浮液稳定性、保水值和比表面积都有所下降。纳米纤丝在脱水过程中形成的空腔或孔隙以冻结结合水（FBW）的含量进行表征，FBW通过差示扫描量热法的等温阶梯熔融程序计算。研究发现未浓缩纤维素纳米纤丝中无孔隙存在，而在浓缩的样品中发现了尺寸为0~395.8nm的孔隙。纤维素纳米纤丝中FBW的含量随着两种浓缩固含量的增加而增加。浓缩过程促进了孔隙的形成，并且优先形成了小尺寸的孔隙。然而，在再分散和再浓缩过程中，纤维素纳米纤丝间形成的孔隙部分塌陷和收缩。基于该浓缩过程中纤维素纳米纤丝结构的变化规律，探究了冷冻干燥前后含木素纳米纤维素形态结构变化特点，结果表明天然木质素分子可以有效减少纳米纤维在干燥过程中不可逆团聚。

关键字 纤维素纳米纤丝；浓缩脱水；结构表征

分类：主题 B 纳米纤维素的基础理论和功能

195

**纤维素分子尺度功能凝胶设计与智能器件**

赵大伟

沈阳化工大学

林木资源是地球上最丰富，人类最宝贵的可再生、绿色资源，如何高效且高附加值利用以木质纤维素为主的林木资源来开发功能性材料已成为当今研究热点。基于纤维素分子微观体系，我们提出了分子尺度下纤维素分子氢键调控及可控组装设计，实现新型功能凝胶结构可控构筑及新颖性能如自愈合性、自机械调控性、自我强化性、极端高导电稳定性等挖掘，开发的功能凝胶材料在柔性储能、生物电子、可植入器件、智能创造及个性防护等领域展现出很好的应用性[1-5]，实现了林木生物质资源的高品质特性开发及高附加值利用。

关键字 纤维素；分子设计；氢键拓扑网络；凝胶材料；柔性器件

分类：主题 B 纳米纤维素的基础理论和功能

208

**仿生层叠结构介导柔性热敏弹性体抗形变干扰**

杨俊、郝三伟、符庆金

北京林业大学

开发柔性热敏材料克服应变引起的温度信号畸变以满足高温度分辨率对可穿戴温度检测设备的发展具有重要意义。贝壳有序的有机-无机交替结构在发生屈服时通过片层滑移和层间矿物桥互锁表现出明显的应变抑制性。受此微观层状互锁结构能够抑制应力集中的启发，本工作基于TEMPO氧化纳米纤丝羧基基团与金属离子的高键能配位交联作用，提出了层间拓扑互锁和异质交替层叠的仿生结构策略，利用层间喷涂和冷压技术将热敏性MXene掺杂的高结晶度强韧聚乙烯醇复合水凝胶制备为层状互锁温敏弹性体并对其进行力学仿真模拟、多维度力学测试和热响应信号检测。[1] 文中证明丰富的羧基与金属离子的交联作为界面互锁依据有效缓解了应力集中，非均相弹性体介质层作为电荷屏障抑制了形变导致的相邻导电通路中电荷迁移，制备的热敏材料实现了精确的温度分辨(0.3 °C)和优异的抗形变稳定性(20000 次折叠)。

关键字 纳米纤维素；温度传感；柔性

分类：主题 B 纳米纤维素的基础理论和功能

215

**纤维素纳米材料在石油和天然气行业中的应用现状**

**与展望**

李美春1,2、刘馨月2、孙金声1、吕开河1

1. 中国石油大学（华东） 石油工程学院 青岛 266580

2. 南京林业大学 材料科学与工程学院 南京 210037

随着全球化石能源消耗的增加和对可持续发展需求的增长，推进生物质材料在油气行业中的高效利用具有重要意义。纤维素纳米材料（CNMs）作为一种储量丰富、可再生、可生物降解的新型纳米材料，具有大比表面积、高机械强度、优异流变特性等优点，在油气行业中的应用受到了广泛的关注。在油气勘探和生产阶段（上游），CNMs可作为钻井液、固井水泥浆、压裂液、完井液、驱油液等功能性流体的流变、滤失、水化、润湿改性剂，促进油气资源的安全高效勘探开发；在油气运输和储存阶段（中游），CNMs可作为高性能填料提升油气传输管道和储罐的机械强度和气体阻隔性能，确保油气的安全高效运输和存储；在油气精炼和纯化阶段（下游），CNMs可作为模板进行功能化改性，在油水高效分离、油气的长链烃裂解、炔烃硼化和化合物脱硫等领域中也崭露头角。本报告将重点介绍CNMs在石油和天然气行业上中下游领域中的研究进展，讨论存在的挑战和对策，为CNMs在油气行业中的高值应用提供一些参考。

关键字 纤维素纳米材料，石油，天然气，钻井液

分类：主题 B 纳米纤维素的基础理论和功能

225

**果胶对苎麻纳米纤维素再分散的促进机制**

余旺、邢忱、谭志坚

中国农业科学院麻类研究所

生物质全组分利用能回避植物细胞壁的分离纯化问题，是纳米纤维素制备的重要发展方向，而纳米纤维素的再分散是其规模化生产应用的基础与关键。果胶对纳米纤维素的再分散具有非常重要的影响，但其作用机制尚未解析。本研究以苎麻纤维为研究对象，采用一系列果胶预提取方法，制备具有不同果胶成分和含量的纤维素纳米纤维，运用原子力显微镜、Zeta电位分析等实验手段，揭示果胶对纳米纤维素再分散的促进机制。研究结果表明，果胶的存在提高了纤维素纳米纤维的Zeta电位值，增加了纤维素纳米纤维悬浮液的分散稳定性。另外，我们推测果胶对纳米纤维素再分散的作用机制为：果胶—半纤维素/木质素—纤维素纳米纤维多层级自组装复合结构的形成，及该结构基于表面静电效应和空间位阻效应产生的表面静电排斥作用和空间弱氢键作用。研究结果为纳米纤维素的规模化生产与应用提供新的理论与技术支撑，也为生物质的全组分高值化利用提供新思路和新方法。

关键字 纳米纤维素；再分散；果胶；苎麻

分类：主题 B 纳米纤维素的基础理论和功能

229

**三元低共熔溶剂预处理制备阳离子改性纤维素纳米纤丝**

和铭

齐鲁工业大学

阳离子化纤维素纳米纤丝（Cationic cellulose nanofibril, CCNF）除了具有一般纤维素纳米纤丝的特性，引入的阳离子电荷还能够使纤维表面活化，使纤维易于分离降低能耗[1]，同时赋予其更多的工业应用潜力。本研究采用可重复利用的氯化胆碱-甘油-氨基胍盐酸盐三元低共熔溶剂（Deep eutectic solvent, DES）体系对高碘酸钠氧化生成的双醛纤维素（Dialdehydecellulose, DAC）进行阳离子改性，再结合超微粉碎和高压均质处理制备CCNF。从AFM 形貌图可以看出，DES破坏了纤维之间的氢键连接[2]，且随着改性时间的增加，CCNF 的粒径显著减小、分布更加集中；CCNF 在1674 cm-1 和1621 cm-1处对应的亚胺键C=N 和N-H 弯曲振动峰表明阳离子基团的成功引入[3]；CCNF 的非结晶区被DES 破坏[4]，导致其结晶度增加，最大结晶度为63.36%；当pH 为7 时，阳离子基团的引入使纤维素的Zeta 电位值从-18.0 mV 显著增加到53.4 mV；但稳定性试验表明，纤维素表面原有的静电斥力被阳离子基团破坏，反应时间的增加导致样品悬浮液团聚，从而使悬浮液稳定性能显著下降[5]。本工作为CCNF 的改性制备提供了新的思路。

关键字 纤维素纳米纤丝，阳离子化改性，低共熔溶剂

分类：主题 B 纳米纤维素的基础理论和功能

231

**纤维素纳米晶基圆偏振光学材料**

徐雁、张丹、卢笛、王朝露、李嘉骐、张莹莹

吉林大学

圆偏振光在光学加密、医疗及编码等重要领域备受关注。目前，基于可持续原料和易量产途径构建高效圆偏振光学材料是该领域的挑战性问题。我们发现（1）纤维素纳米晶（CNC）基手性向列相将与其光子禁带匹配的荧光转化为高不对称因子右旋圆偏振荧光；（2）成功构筑双手性圆偏振反射光、双手性圆偏振荧光的CNC基薄膜；（3）获得带中右旋圆偏振磷光、带边左旋圆偏振磷光的手性向列型二氧化硅薄膜；（4）实现了红外二区右旋圆偏振荧光CNC基薄膜的构筑，其右旋圆偏振光可用于区分小鼠的癌组织和健康组织。近期工作显示，CNC基薄膜产生的红外二区圆偏振光可有效区分人体胃的癌组织和健康组织, 基于左旋圆偏振反射光学图案的珠光材料在视觉密码领域展示应用潜能, 建立了手性光学性质表征方法，用于读取CNC基软物质的即时手性光学性质。我们将进一步探究光学调控的介观相机制及构效关系、为开发可持续易量产高效圆偏振光学材料提供科学依据。

关键字 纤维素纳米晶 圆偏振光 手性向列相 生物医学 光学编码

分类：主题 B 纳米纤维素的基础理论和功能

238

**纳米纤维素的环保制备与应用**

杨轩

浙江大学

浙江大学衢州研究院

伴随着纳米科技的发展，不同成分、结构和几何形状的纳米颗粒成为科学研究的热点。 其中，天然来源的纳米纤维素不仅符合可再生、可降解等“绿色”概念，还具备高长径比、高机械性能、表面特性可调等诸多优点，有望被应用在很多领域。但是，目前主流的制备方法一般需要使用TEMPO媒介氧化预处理等相对不够环保与经济的工艺。在本项工作中，我们从植物原材料出发，开发了不同的温和预处理方法来选择性地保留天然半纤维素和木质素，不仅更加环保高效地制备了纳米纤维素，也给后续的膜和纤维等终端材料带来了性能提升。这些材料的机械性能甚至超过了大多数相同形式的合成高分子材料，是实现绿色材料使命的绝佳候选材料。

关键字 纳米纤维素；制备

分类：主题 B 纳米纤维素的基础理论和功能

244

**纤维素微凝胶/聚合物相互作用探究：三维纳米纤维网络的结构优势分析及其应用**

李凯、刘玉新

昆明理工大学

纤维素微凝胶，是由一维纤维素纳米纤维缠结而成的微米级颗粒，较一维纳米纤维素，其在结构上的最大区别在于纳米纤维网络。凭借纳米纤维网络边缘的高支化结构以及组成单元—纳米纤维的尺度效应，聚合物分子链可与网络发生缠结，悬挂或是穿孔行为，实现两者紧密连接。基于这种连接，纤维素微凝胶可在液体中构建连续性屈服网络，实现固体粒子稳定悬浮，以及在聚合物复合中，利用网络破裂耗散能量，实现增强以及增韧的效果，网络的存在也会对聚合物不同尺度单元的运动进行限制，实现聚合物的多级松弛行为，并且实验发现其悬浮以及增韧均好于一维纤维素纳米纤维。另外，微凝胶的纤维孔洞结构在干燥过程中，由于孔洞坍塌产生的毛细管效应会对周边基质产生强烈的吸附，实现较一维纤维素纳米纤维更强的界面粘附能力，并且微米级颗粒较纳米纤维过水速度更快，可应用于高强度纸塑产品制备。因此，微凝胶可与聚合物发生更丰富的相互作用，为纤维素胶体的发展提供多一种选择。

关键字 纤维素微凝胶；网络；增韧；屈服；多级松弛

分类：主题 B 纳米纤维素的基础理论和功能

251

**米糠纤维素纳米晶在Pickering乳液体系中的应用研究**

王国珍、蔡丹、陈磊、丁文平

武汉轻工大学

米糠纤维素纳米晶（Cellulose Nanocrystals，CNC）具有可再生、可降解、良好的生物相容性、高反应活性和比表面积大等特性，在食品领域具有良好的应用前景[1]。然而，CNC的强亲水性使其在较低浓度下难以形成稳定的Pickering乳液，限制了其在食品和医药领域的应用。本文以脱脂米糠粕为原料，通过化学预处理法分离得到米糠纤维素，利用酸水解法和超声协同处理制备米糠CNC，将其与三聚磷酸钠（TPP）复合改善其乳化性能用于稳定槲皮素的Pickering乳液，采用激光共聚焦（Figure 1）、流变仪和Zeta电位仪等表征乳液的粒径、流变热性和稳定性等性能。当TPP添加量为0.02%时，乳液具有最小的粒径（172.2 nm）、最小的Zeta电位值（-56.8 mV）和较低的PDI值（0.46）。TPP和CNC结合能够高Pickering乳液的温度稳定性和氧化稳定性，在该体系中槲皮素包封率可达96.13%，并具有较高的生物可及性。

关键字 米糠； 纤维素纳米晶；Pickering乳液

分类：主题 B 纳米纤维素的基础理论和功能

256

**诱导圆二色性用于纤维素纳米晶自组装过程的手性探针**

魏丽红

吉林大学

纤维素纳米晶具有可再生、来源广泛、生物相容和溶质型手性液晶等优异特性，成为备受关注的手性纳米基元，目前，对其自组装过程的认识仍很片面。在此，我们利用纤维素纳米晶及其手性向列型液晶的诱导圆二色性，以亚甲基蓝为染料探针监测棉浆纤维素纳米晶悬浮液从光学各向同性到光学各向异性过程中的诱导圆二色性变化，从而建立组装过程的手性印记。结果显示，在蒸发诱导自组装过程中出现三次诱导圆二色性峰形翻转。其中，第一次翻转发生在4.5 wt%左右，第二和第三次翻转分别发生在约9 wt%、20 wt%。基于此，我们提出将纤维素纳米晶组装过程分为四阶段，即纳米组装，团聚体积累，缺陷产生和驰豫。我们报道了一种简单而实用的新方法，该方法基于手性变化描述纤维素纳米晶组装过程，有助于深化对其自组装行为、手性转移以及手性放大的理解。为实现缺陷嵌入型手性向列相的定向构筑、光学管理材料的精准构筑，拓宽纤维素纳米晶在光子材料等领域的应用潜力提供科学依据。

关键字 纤维素纳米晶; 诱导圆二色性; 自组装; 手性探针; 缺陷

分类：主题 B 纳米纤维素的基础理论和功能

263

**氢键选控活化策略下的纳米纤维素制备及利用**

朱旭海、司晓勤、卢锐、路芳

中国科学院大连化学物理研究所

纤维素是木质纤维素类生物质的主要成分之一，其在能源、医药、食品和纺织等领域有着广泛的应用基础和良好的发展前景。然而木质纤维细胞壁中纤维素、半纤维素和木质素相互之间构成的复杂韧性结构为高质量纤维素的分离带来了极大的困难。此外，如何调控纤维素结构氢键来实现功能多样性用途也是一项挑战。如图1，我们发展了一种简单高效的策略，利用绿色溶剂热处理法从木质纤维原料中分离出高质量纤维素，并采用低浓“氢键剪刀”有机酸来制备纳米纤维素，之后将其应用到了高效催化剂和微纳口罩的制备当中。取得的主要成果如下：

使用ε-己内酯/水体系在170 ℃，200 min氮气反应条件下从榉木原料中分离得到纤维素纯度、保留率及结晶度分别为86%、85%和76%的浆料。处理后，所得纤维素浆料中纤维直径减小，孔隙率增加，溶胀能力增强，有助于后续生物发酵，化学处理及物理加工。之后，我们采用5 wt%三氟甲烷磺酸酐水溶液对所得纤维素浆料进行水解处理，不仅断裂了纤维素无定形区的糖苷键还裁剪重整了纤维素的氢键结构网络。该低浓有机酸的酸性和氢键协同作用处理有利于浆料高压均质化处理得到纳米尺寸分布均匀的纳米纤维素，其纳米直径为27±8 nm，产率高达81 wt%，且结晶度为84%，最大热降解温度为331 ℃ 。最后，我们选择制备的纳米纤维素为载体，采用原位还原法掺杂第二金属组分Co来对Pd金属催化剂进行改性调控，制备出负载型双金属催化剂。该催化剂对含有C=C键的化合物表现出高转化率和高选择性。我们还将纳米纤维素负载于聚丙烯熔喷纤维上，构建了新型具有微纳结构的复合过滤层，从而减小了滤层对电荷的依赖。检测结果显示新型口罩对细菌的过滤效率高达99.9%，且在-20 ℃ 低温下滤效保持不变，可在疫情高发的冬季起到长期防护作用。

关键字 组分分离；纳米纤维素；氢键；催化剂；口罩

分类：主题 B 纳米纤维素的基础理论和功能

285

**改性纳米纤维素/玉米醇溶蛋白可食膜的制备及性能研究**

牛永航、赵恩靓、吕艳娜\*

大连工业大学

为了赋予纳米纤维素抗菌性，提高其在食品保鲜中的应用价值。本研究以TEMPO氧化的纤维素纳米纤丝（TOCNF）为原料，利用没食子酸（GA）对TOCNF改性，获得改性后的纤维素纳米纤丝（GA-TOCNF）。并将其与玉米醇溶蛋白（Zein）共混制备可食性薄膜，探究了GA-TOCNF和Zein不同比例对所制薄膜的性能影响。当GA-TOCNF与Zein溶液的体积比为1:2时，制备的没食子酸改性纳米纤维素/玉米醇溶蛋白复合膜（GA-TOCNF/Zein）的拉伸强度为9.04 MPa，与不添加GA-TOCNF的薄膜相比，提高了1.89倍。对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的抑菌圈直径分别为11.95 mm和13.1 mm。综合评价圣女果失重率、可溶性固形物和感官评价等指标，玉米醇溶蛋白基复合膜对圣女果的涂膜保藏效果优于不涂膜对照组。

关键字 纳米纤维素；酯化反应；抗菌薄膜；可食性膜

分类：主题 B 纳米纤维素的基础理论和功能

293

**纤维素纳米纤维的宏观结构调控及其在空气过滤中**

**的应用**

林金友

中国科学院上海高等研究院

颗粒物污染已日益成为全球性的难题，高效空气滤材有着巨大的需求。纤维素纳米纤维素具有可持续、可再生、生物可降解和易于功能化的优点，因此，以纤维素纳米纤维素为基元材料发展空气过滤材料具有很大实用价值。本报告主要内容包括：（1）以黄麻纤维为原料，制备了尺寸均一的纤维素纳米纤维，优化了制备工艺，简化过程，降低能耗，为黄麻纤维的高附加值应用开辟了新的方向；（2）在该制备工艺的基础上，扩大原料制备范围，实现了从甘蔗渣、麦秸秆、亚麻纤维、木浆纤维等4种材料中制备纤维素纳米纤维的目标，完善和优化了相关工艺参数，为纤维素纳米纤维稳定化可控制备奠定基础，并放大规模制备，为传统农作物废弃秸秆处理寻找了新的出路；（3）通过冷冻干燥法，以多孔滤材为基底，在其表面构筑具有三维立体纳米网状结构的纤维素纳米纤维，制备了可全生物降解高效材料，PM0.3拦截效率可以达94.6%，相较与其本底材料，过滤效率增加了15倍，压阻值为175Pa，改性处理后的复合滤材可以在80%相对湿度下保持较高过滤效率，探明了冷冻干燥成网机理和调控规律，建立相应的结构调控方法，为制备生物可降解防护滤材奠定了基础。

关键字 纤维素纳米纤维；宏观组装；网状结构；空气过滤

分类：主题 B 纳米纤维素的基础理论和功能

299

**纳米TiO2复合多孔纤维素涂层制备及光催化抗菌**

**性能研究**

瑞文

中国科学院理化技术研究所

纤维素具有资源丰富、可再生、可生物降解等优点引起了人们的广泛关注。纳米纤维素是纤维素纳米化的产物，相比于纤维素其机械强度高、比表面积大、高杨氏模量、亲水性强等特点，具有更广阔的应用前景[1-2]。本文采用纳米纤维素为基础骨架，疏水纤维素纳米片为插层，烷基乙烯酮二聚体为乳化剂，制备多孔疏水涂层，然后将纳米TiO2镶嵌于孔内，制备可用于光催化抗菌的疏水涂层。现初步测得该涂层的接触角 (CA) 可超过 140°，表现出良好的抗湿性能（Figure 1）。

从SEM图中可以看出，多孔的表面结构提供了更大的比表面积，有助于TiO2在表面的分散，增加光催化灭菌的效果；疏水纤维素纳米片与烷基乙烯酮二聚体赋予了涂层表面疏水的性能。此外，烷基乙烯酮二聚体进一步将纳米TiO2固定在多孔的孔壁上，增加了涂层的稳定性。总的来说，本研究为制备具有优异光催化和抗菌性能的疏水涂层提供了一种简单有效的方法，为设计和制造新的可降解、食品包装材料提供了新的思路。

关键字 纳米TiO2，涂层，纤维素，光催化，抗菌

分类：主题 B 纳米纤维素的基础理论和功能

304

**纤维素纳米晶手性组装的压力多级调控及反转**

叶春洪1、孟晓1、王凯2

1. 上海科技大学

2. 吉林大学

纤维素纳米晶（CNCs）手性光学性质是材料和光学领域研究的热点，在手性光学器件构筑、生物检测、纳米光子等领域具有广泛的应用。而CNCs自发组装为何形成左旋胆甾结构？针对这一问题，多年来该领域通过理论模拟，提出了各类结构模型与推测，然而在实验层面，仍处于探索中。CNCs的手性结构覆盖了分子、介观、宏观多个层面，理解各个层次的作用关系，对探索左旋胆甾组装行为的内在机制、实现手性调控，甚至手性反转具有促进作用。本工作借助金刚石对顶砧原位系统，在各向同性静水压力的作用下，探索CNCs手性薄膜中宏观、微观和分子层面的组装作用力，实现了逐步调控相结构、弱相互作用和化学结构，从而改变胆甾相组装结构螺距和取向，实现压力下手性光学性质的动态调控和手性反转。本工作对探究CNCs手性组装机制、理解力-结构-手性光学性质的构效关系提供了进一步深入的理论基础。

关键字 纤维素纳米晶体，手性调控，高压，多级组装

分类：主题 B 纳米纤维素的基础理论和功能

305

**基于QCM-D研究阳离子半纤维素与纳米纤维素的**

**相互作用**

蓝星宇、付时雨

华南理工大学

半纤维素在植物细胞中起着结合纤维素和木质素的关键作用。半纤维素是如何粘附在植物细胞壁的微纤维周围的，这是一个关键的问题。在此，用季铵盐基团修饰半纤维素，形成阳离子半纤维素（CH），并利用石英晶体微天平（QCM-D）监测了CH和纳米纤维素（CNC）之间的相互作用，为半纤维素的结构影响其与纤维素纤维的连接提供理论支持。结果表明，CH的取代度（DS）在0.09到0.254之间，阳离子半纤维素成功接枝带电基团。CH在CNC表面的吸附与静电作用有很大关系。具有高DS的CH具有较高的吸附率和较大的吸附层的吸附能力。带有阳离子电荷的半纤维素明显提高了纤维素复合膜的拉伸强度，CH和CNC之间的良好结合对于形成高强度的复合膜是有利的。阳离子改性的半纤维素和纳米纤维素之间的强烈结合可能为开发纤维素-半纤维素复合材料提供一种方法，用于各种包装和医疗应用。

关键字 阳离子半纤维素，纳米纤维素，相互作用，石英晶体微天平

分类：主题 B 纳米纤维素的基础理论和功能

312

**氯氧化铋@纳米纤维素二维层状膜的构建及其光催化性能研究**

王冲、周为名、袁占辉

福建农林大学

  利用太阳能将水转化为绿色燃料氢气，可以将太阳能资源化利用，是未来实现“碳达峰”与“碳中和”发展目标的重要途径之一，具有广阔的应用前景和社会意义。为了提升光解水产氢性能，目前主要采用纳米材料作为光催化剂。纳米级光催化剂具有更高的比表面积以及更短的电子-空穴传输路径。然而纳米级光催化剂的工业应用仍然有限，其主要原因是纳米级光催化剂易发生聚集，很难从反应系统中回收再利用。在本研究中，氯氧化铋纳米片和纳米纤维素通过逐层自组装制备了多孔二维层状膜光催化剂（图1a）。纳米纤维素的引入优化了材料的纳米通道尺寸，加速了纳米通道内的水传输速率，进而提升光解水产氢效率。此外，在10次、共计60小时的循环试验中，光解水产氢速率仍保持不变（图1b）。这种使用纳米片光催化剂和纳米纤维素制备二维层状膜的策略不仅提升了光解水产氢效率，更为开发稳定、可重复使用、可工业应用的光催化剂提供新思路。

关键字 光催化，纳米纤维素，氢气

分类：主题 B 纳米纤维素的基础理论和功能

316

**基于天然纤维构筑纳米纤维素功能材料与器件**

余厚咏

浙江理工大学

基于天然纤维结构特异性，提出了纤维素的再生纳米结构解析、溶解再生新材料及功能化设计新方法，掌握了不同制备方法从天然纤维素水解或氧化演变再生结构的原位表征和机理解析，开发出纳米纤维素功能材料与器件，为新型纤维素绿色包装材料与传感器件的开发提供了新思路。

关键字 天然纤维；纳米纤维素；结构解析；功能材料与器件

分类：主题 B 纳米纤维素的基础理论和功能

330

**FeCl3强化低共熔溶剂分级秸秆废弃物梯级制备絮凝剂和磷肥**

陈怡奕、沈飞跃、沈如倩、沈飞、田东

四川农业大学

当前的农业过度依赖化石资源型投入品，同时秸秆废弃物和含磷的农田退水不断产生严重威胁可持续发展。前期研究表明，FeCl3具有增强DES预处理木质纤维素解构和分馏的能力 [1-2]。本研究据此提出一种闭环技术，评价FeCl3强化低共熔溶剂（DES）处理秸秆制备含木质素的纤维素纳米纤维（LCNFs）絮凝剂的技术可行性，评估其对代表性农田退水的磷去除性能及联产葡萄糖和磷肥的潜力（Figure 1）。结果表明，LCNFs的总磷去除率达到99%，絮体酶水解转化约52.4%的葡萄糖。100 g秸秆原料最终获得8.6 g反应性木质素、27.9 g磷肥和30.7 g葡萄糖叶面肥添加剂。FeCl3强化DES的生物质解构和木质素重排的双重功能对絮凝性能的增强和絮体的酶水解发挥决定性作用。这项研究为实现可持续的绿色农业提供了新思路。

关键字 低共熔溶剂，纳米纤维素，磷回收，可持续农业

分类：主题 B 纳米纤维素的基础理论和功能

363

**纤维素基材料结构色的调控及应用**

郭家奇1,2、王士豪1,2、孙景1,2、宋君龙1,2、金永灿1,2

1. 南京林业大学 江苏省林业资源高效加工利用协同创新中心，江苏 南京 210037

2. 江苏省制浆造纸科学与技术重点实验室，江苏 南京 210037

结构色又称物理色，与色素着色无关，是由生物体的亚微观结构引起的光学效应。结构色因其环保性和虹彩效果等优点而受到广泛关注。纤维素衍生物，如纤维素纳米晶、羟丙基纤维素等，一定浓度下的水溶液中可形成介于液态和结晶态之间的有序液晶相，经调控后，能够产生结构颜色。本报告将讨论纤维素衍生物（CNC、HPC）构建手性向列结构的机理及性质调控策略，构建基于纤维素结构色的功能材料，如3D打印光子油墨、力致变色弹性体等。报告也将探讨基于纤维素结构色构建功能材料面临的挑战与不足。

关键字 纤维素、手性向列结构

分类：主题 B 纳米纤维素的基础理论和功能

373

**微纳米纤维素的制备、表征及高值化应用**

曾劲松

华南理工大学

植物微纳米纤维素具有高比表面积、高反应活性、轻质高强、原料来源丰富、优异的流变性能、绿色可降解等众多优势，其重量只有不锈钢的1/5，强度则达到不锈钢的5倍以上，被称为“后碳纤维时代”的新材料，未来有望取代金属和塑料，极具发展潜力，国内的学术研究得到迅猛发展。但是，国内的微纳米纤维素产业发展尚处于发展的瓶颈期，主要体现在以下几个方面：

1、制备方面：国内已从小型实验室规模逐渐发展到一定的中试规模，但相对于国外产业化进程仍有较大的差距，在绿色化、低成本、连续化、高浓度、高长径比等关键制备技术领域亟需突破；

2、表征方面：产品批次间差别大，品质可控化程度低，无法实现实时检测；

3、应用方面：国内正处于产业化突破的关键节点，相关配套的产业链不完整，高值化应用程度较低，亟需突破现有的产业化壁垒。

基于此，华南理工大学陈克复院士团队的曾劲松教授，多年来深耕于微纳米纤维素相关领域，积累形成了学科交叉融合知识体系，相继承担国家重点研发计划课题“微纳米纤维素关键制造技术及中试示范2017YFB0307900”、浙江省“尖兵”计划研发攻关项目“高性能纳米纤维素的产业化关键技术及其应用开发2022C01234”及四川省宜宾市“揭榜挂帅”项目“竹源纤维素纳米材料制备关键技术研究2022JB014”，依托课题支持，重点研发微纳米纤维素的高浓、连续、低成本的绿色制备工艺及关键装备技术突破、微纳米纤维素的动态流体力学表征及其高值化、产业化推广应用等，已取得重大进展。

本次报告以微纳米纤维素为主体，概述微纳米纤维素的物化性能及分析国内外研究现状，重点阐述本团队及合作单位在微纳米纤维素的绿色制备、动态表征、分级分离及其高值化、产业化应用推广工作，分享团队技术成果，为推动微纳米纤维素相关技术在国内外转化、综合利用等方面奠定坚实的基础。

关键字 微纳米纤维素；制备；表征；高值化应用

分类：主题 B 纳米纤维素的基础理论和功能

378

**高性能纳米纤维素基柔性电磁屏蔽材料**

徐婷、刘坤、张萌、司传领

天津科技大学轻工科学与工程学院，天津 300457

      为增加纤维素纳米纸的（CNP）功能性并赋予导电性，此项工作在CNP中引入超大长径比的银纳米线（AgNW），通过逐步自组装工艺制备柔性纤维素纳米纤丝/银纳米线纳米纸（CNF/AgNW CNP）。研究发现，当AgNW含量为5.0 wt.%时，所获得的厚度为~50 μm的CNP表现出~98.6 MPa的优异拉伸强度和~1673 S‧cm-1的高电导率。CNF/AgNW CNP独特的层状结构以及CNF和AgNW之间出色的协同作用使优化后的CNF/AgNW CNP在X波段表现出高达67.3 dB的高电磁干扰屏蔽效率。因此，这种坚固且高导电的CNF/AgNW CNP有望拓宽新的应用领域，包括智能服装、可穿戴电子设备和其他柔性电子领域。在此研究基础上，将PEDOT:PSS/CNP中引入二维导电材料MXene，通过真空辅助过滤工艺制备了具有三元异质结构的独立式柔性纤维素纳米纤丝(CNF)/PEDOT:PSS/MXene纳米复合薄膜优化后的纳米复合薄膜表现出高达1903.2 S‧cm-1的电导率。由于优异的导电性和独特的异质结构，纳米复合薄膜在仅58.0 μm的厚度下表现出77.0 dB的高电磁屏蔽性能。

关键字 纳米纤维素，导电性能，柔性，电磁屏蔽

分类：主题 B 纳米纤维素的基础理论和功能

386

**利用绿色三元深共晶溶剂制备高阻燃性竹纳米纤维素**

李倩、叶杰睿、高月兵

浙江农林大学

    近年来，纤维素纳米纤维素因其高强、轻质、可再生及可生物降解等特性而备受关注，但是纤维素自身具有易燃的缺点，几秒之内会发生点燃。针对此问题，本工作提出一种新型三元深共晶溶剂（TDES）对竹纤维进行化学预处理，结合机械研磨法制备出磷酸酯化纳米纤维（PCNF）。研究结果表明，PCNF的直径为3-10 nm，经流延成膜后具有优异的阻燃性，满足UL94 V-0级别，其极限氧指数（LOI）高达70%左右。未磷酸化的BCNF膜燃烧过程迅速（9s内完全燃尽），火焰明显，而PCNF薄膜，在火焰中暴露较长时间(180s)时均难以燃烧，移除火焰后自熄性好。与BCNF相比，PCNF-120薄膜的热释放速率峰值（PHRR）和总热释放（THR）分别显著降低了96.7%和96.8%。本研究开发了一种成本低、可循环使用、绿色环保的TDES，无需额外添加阻燃剂，将低成本的可再生资源转化为本征阻燃的竹纳米纤维，为开发纳米纤维素在阻燃、隔热和导电等方面的应用提供了新的途径。

关键字 纳米纤维素，深共晶溶剂，阻燃性能

分类：主题 B 纳米纤维素的基础理论和功能

416

**多尺度细菌纤维素基材料的构筑及其在伤口敷料的应用**

钟成、秦晓彤、王凤萍、谢燕燕

天津科技大学

细菌纤维素（Bacterial cellulose，BC）因其独特的纳米纤维、优良的三维网络结构和生物相容性等特性，在生物医学领域受到关注。然而，BC孔径小、网络致密，难以满足液体渗透、细胞生长等要求。此外，BC结构、组分单一，其应用受到了极大的制约。针对上述问题，课题组以BC为研究对象，通过异位、原位和溶解BC等方法，开展BC网络结构的有序调控，构建由纳米尺寸到微观尺寸可控的多孔BC材料，并通过纳米颗粒的负载和化学改性，使BC材料的性能得到优化和改善，对丰富BC结构调控理论，促进BC的广泛应用具有重要的研究意义和应用价值。本文以淀粉为致孔剂，通过微生物发酵法，制备具有不对称结构的BC膜，负载Ag-MOF和姜黄素制备多功能伤口敷料。该伤口敷料因其不对称结构能够有效促进姜黄素的溶解，实现姜黄素和银离子的可控释放，促进伤口的愈合，具有广阔的应用前景。

关键字 细菌纤维素；纳米纤维素；伤口敷料

分类：主题 B 纳米纤维素的基础理论和功能

422

**不同氧化途径对玉米秸秆纳米纤维素气凝胶性能的影响**

彭丹1、叶容川1,2、肖桂聪1,2、李伙生2

1. 深圳信息职业技术学院

2. 广州大学

社会经济的发展产生了大量的环境污染，严重影响生态环境健康。将秸秆废弃物开发成为环境功能材料，有利于解决环境问题。传统工艺是提取秸秆纤维素，并对其氧化改性，为材料赋予表面电荷和官能团。经典方法为TEMPO介导的次氯酸盐对纤维素C6的选择性羧化，但该方法也存在弊端，如试剂成本过高、反应体系较严苛、 试剂毒性和环境负面影响较大。

本研究以玉米秸秆为原材料，采用酸性高锰酸钾氧化法制备出含木质素纳米纤维素，并采用冰模板法制备出疏水气凝胶 (P-CNFA)应用于油水分离。通过孔结构分析、力学性能分析、表面接触角分析、吸附性能分析，比较了本方法与TEMPO氧化法纳米纤维素气凝胶(T-CNFA)。P-CNFA对机油的最大吸油量约142 g/g，而T-CNFA仅为97.1 g/g，同时P-CNFA节约了时间成本和试剂成本（无需脱木质素、氧化时间仅为1-1.5小时）。P-CNFA可降解、成本低、密度低、可再生、易于加工，具有广阔的应用前景，符合绿色可持续发展需要。

关键字 纳米纤维素；氧化；气凝胶；油水分离

分类：主题 B 纳米纤维素的基础理论和功能

427

**纤维素纳米晶在双水相系统中的多相分离问题研究**

褚光

东南大学

Aalto University

相分离是一种普遍存在于自然界中的相转变过程：即均质混合物中的各组分在活性、粘弹性、温度等因素驱动下，自发地将系统分离成两个不同的区域。常见的高分子共混物、高分子溶液与胶体纳米粒子悬浮液都会发生相分离现象，因此深入理解相分离过程涉及到如何从无序系统中勾勒出有序多尺度自组装机理。有鉴于此，我们通过利用刚性纤维素纳米晶粒子与柔性葡聚糖（Dextran）-聚乙二醇（Polyethylene glycol，PEG）双元聚合物作为模型分子，在全水相体系中构建了一系列异质多相分离系统[1], [2], [3]，分别包含聚合物溶液的液-液相分离（liquid-liquid phase separation，LLPS）与纤维素纳米晶粒子的液晶相分离（liquid crystal phase separation，LCPS）过程。在多组分聚合物-纤维素纳米晶混合物中，我们通过调节LLPS与LCPS过程中热力学与动力学之间的权衡来控制混合物的相行为，使纤维素纳米晶在分隔的水性聚合物相内或界面之间表现出手性自组装效应。基于上述理论，我们在纤维素纳米晶-Dextran-PEG三元体系中分别构建了水-水液晶乳液、双连续相液晶乳液[1], [2]以及“温度-浓度双响应”多相体系[3]。此外，通过调节混合物的组分，我们进一步获得了LLPS-LCPS耦合相转变过程，即在高温下该混合物是均匀且稳定的，但冷却至室温时发生相分离，展现了溶致性胆甾液晶基质中的热致性相行为。

参考文献：

[1]        Long Bai, Siqi Huan, Bin Zhao, Ya Zhu, Jordi Esquena, Feng Chen, Guang Gao, Eyal Zussman, Guang Chu\*, Orlando J. Rojas\*. ACS Nano 2020, 14 (10): 13380.

[2]        Shasha Guo, Han Tao, Guang Gao, Sameer Mhatre, Yi Lu, Ayako Takagi, Jun Li, Lihuan Mo, Orlando J. Rojas\*, Guang Chu\*. Biomacromolecules 2023, 24 (1): 367.

[3]   Han Tao, Carlo Rigoni, Hailong Li, Antti Koistinen, Jaakko V. I. Timonen, Eero Kontturi\*, Orlando J. Rojas\*, Guang Chu\*. Nature Communications 2023, In press.

关键字 纤维素纳米晶、双水相系统、自组装、多相分离

分类：主题 B 纳米纤维素的基础理论和功能

429

**纤维素溶解在氢氧化钠水溶液中质子转移机理的研究**

陈玉、陈攀

北京理工大学

纤维素是地球上最丰富的可再生生物质能源之一，也是植物细胞壁的主要成分之一，由葡萄糖1,4-β糖苷键连接而成的长链大分子。纤维素溶解在氢氧化钠体系是一个历史性的话题。事实上，关于氢键的理论还存在争议，氢键网络中普遍存在的质子转移反应[1]。目前，仍然缺乏关于溶解背后的机制解释以及如何改进它的方法。在我们先前的工作中，从热力学的角度解释了碱尿素溶解纤维素的机理[2]。其中，我们发现一个有趣的现象，即氢氧根离子（OH-）与的两个羟基形成双氢键 (HO2=HO3>HO6)，如图1，通过形成双氢键实现质子转移，表明纤维素的质子化可能是纤维素溶解的关键步骤。OH−在纤维素链附近长期稳定，且纤维素表面的OH−个数多于Na+表示，纤维素表示呈现负电荷。我们进一步研究氢键桥辅助质子转移的理论，OH-与的两个羟基形成双氢键在水环境下进行质子转移，进而说明碱尿素体系溶解纤维素是一个非衍生化的过程。本文欲在分子水平上将化学与物理学结合起来，以作为纤维素在碱尿体系中热力学理论解释上的补充。

关键字 纤维素，溶解，质子转移，分子模拟

分类：主题 B 纳米纤维素的基础理论和功能

430

**纤维素纳米晶高分散零价铁降解脱溴的效能提升和机理研究**

栗诗艳、胡晓磊、周洁、郑烁、马全学、付浩阳、邓子龙

同济大学环境科学与工程学院

四溴双酚A（TBBPA）是应用最广泛的溴系阻燃剂，其会影响激素活性并具有致癌潜力。纳米零价铁（nZVI）因其大比表面积和高反应活性，可将TBBPA预吸附到颗粒表面进行还原降解。然而，由于表面电荷和磁性，nZVI颗粒易团聚，导致降解率低和不完全脱卤。本研究采用资源化制备的纳米纤维素（NC）作为负载材料，定向选取生物质原材料（秸秆、滤纸、棉花）、化学加工过程（酸解时间、浓度）、合成方式（原位、异位）作变量，通过酸解法从废弃秸秆成功制备纳米纤维素晶体CNC-S，获取分散良好、大小均匀的CNC-S(in)/nZVI复合材料，通过 SEM、XRD、FTIR证明了nZVI通过静电相互作用、氢键、螯合等方式被锚定在CNC表面羟基上；采用批实验法探讨pH、TBBPA浓度对TBBPA降解动力学的影响，结果表明0.5g/L的CNC/nZVI在pH=7，TBBPA为10mg/L时，10min实现96.5%的去除效率。与nZVI相比显著提高了去除效率，可能归因于CNC的高吸附能力和nZVI高效还原反应的协同作用。研究表明精细化调控的CNC使nZVI团聚问题得到改善，为nZVI在有机物污染水体的修复提供了新思路。

关键字 纳米纤维素 纳米零价铁 脱溴

分类：主题 B 纳米纤维素的基础理论和功能

449

**功能化纳米纤维素载药系统用于光动力/免疫联合抗肿瘤研究**

任杨梅、郭刚

四川大学

纳米纤维素（NCC）是纤维素的一种特殊形态，具有可再生、可生物降解、生物相容性优异和化学结构可修饰的特点，其表面丰富的羟基为多功能应用提供了更多可能性[1]。光动力治疗（PDT）是一种在特定波长光照下激发肿瘤部位光敏剂产生活性氧（ROS）杀死癌细胞的临床癌症疗法，与氧气依赖的Ⅱ型PDT相比，Ⅰ型PDT能在不过多依赖氧气的条件下产生细胞毒性更强的ROS，因此更能适应肿瘤乏氧微环境[2]。PDT可以诱导肿瘤产生免疫原性细胞死亡（ICD）激发适应性免疫，但是肿瘤组织低免疫原性和免疫抑制微环境导致PDT的免疫响应有限。本文在NCC上修饰光敏剂卟啉（PX）及具有手性异构体的聚乳酸（PLA）支链，通过PLA手性分子之间相互作用自组装得到了叶酸修饰的功能化立构复合结晶（SC）纳米胶束。装载免疫检查点抑制剂NLG919和BMS1之后进一步得到了具有免疫调节功能的光敏胶束（PFBN），该光敏胶束显示出良好的Ⅰ型PDT特征，能诱导肿瘤细胞ICD并有效激活机体免疫，发挥光动力/免疫联合抗肿瘤效果。

关键字 纳米纤维素，光动力治疗，免疫检查点抑制剂，肿瘤治疗

分类：主题 B 纳米纤维素的基础理论和功能

450

**木质生物质基多孔复合材料跨尺度构筑及应用**

陈露

武汉大学

木质生物质作为人类社会依赖的重要资源，是一类来源丰富、可天然再生、可生物降解的优质天然高分子材料。高效利用木质生物质有助于减少对化石原料的依赖并促进当今社会的可持续发展，是当前研究的热点。在此，我们基于“自上而下”和“自下而上”两种策略跨尺度构筑生物基多孔复合材料。首先，我们充分利用天然木材三维分级多孔结构，基于“自上而下”策略原位杂化调控木材表界面结构，制备了具有天然木材衍生结构的高效光热蒸发器件，实现了太阳能蒸发和挥发性有机污染物去除的多功能应用[1]。同时，我们基于“自下而上”策略，利用木质生物质衍生出的纳米纤维素与炭黑分散液具有可控的流变特性，通过3D打印技术构筑了具有精巧木材仿生结构的三维纤维素基复合膜材料，实现了其在太阳能蒸发领域的应用[2]。此外，我们通过在纤维素体系中引入天然矿物膨润土增强相，设计纤维素与膨润土之间的强配位作用，室温干燥制备高强、优异隔热性和热稳定性的纤维素矿物泡沫，实现了其在包装、隔热领域的应用[3]。

关键字 木质生物质，复合材料

分类：主题 B 纳米纤维素的基础理论和功能

451

**麦草纤维原料制备纳米颗粒滤膜的研究**

曾庆奥、吉兴香、田中建、陈嘉川、马浩、刘珊

齐鲁工业大学（山东省科学院）

        我国每年都会产生大量的农用秸秆废弃物、稻草等生物质资源，特别是在北方地区麦草生物质资源丰富[1]。农业秸秆在制浆造纸过程中产生的黑液存在硅元素，使得碱回收存在困难。对麦草进行碱和生物酶预处理，通过机械磨浆将麦草制成含木质素的纳米颗粒，为麦草纤维利用提供了一种新的方式。麦草经过强碱和纤维素酶预处理，能够有效分离出纤维原料中的木质素，同时改变纤维素长度，降低机械处理过程中能耗，最终在机械作用下得到含木质素的纳米颗粒，经抽滤得到滤膜。通过控制用碱量以得到不同木质素含量的滤膜，进而探究不同木质素含量下纳米颗粒滤膜断裂长、接触角和透明度变化。实验结果表明，随着木质素含量的提高：滤膜发生断裂的最大应力降低，由93.99 MP变为8.64 MP；接触角增大，由90.7°增至110.8°；透明度下降，由89.03%降到15.03%。

关键字 木质素纳米颗粒 滤膜 预处理

分类：主题 B 纳米纤维素的基础理论和功能

453

**棉秆生物机械浆制备纳米颗粒的性能研究**

朱飞虎

齐鲁工业大学（山东省科学院）

棉秆的组分结构跟木材相似，有着丰富的纤维素资源，木质素纳木纤维素是含少量木质素的纳米级纤维素颗粒，其保留了部分纳米纤维素的性能，也增加了部分木质素所具有的特性，而棉秆有着相对复杂的木质素结构。为了探究棉秆制备的木质素纳米纤维素的物理性能，本次实验将以改变NaOH用量控制木质素含量，制备纤维素酶预处理的木质素纳米纤维素。通过抽滤与涂布得到膜和涂布纸，检测其表面物理性能。用碱量为2%时，原料木素含量占比为24.10%，当用碱量增加到8%时，木素含量占比下降到19.17%。而此时，木质素纳米纤维素膜的接触角降低了8.5 °，拉伸强度提高了28.7 MPa，断裂伸长率提升了1.89个百分比；涂布纸的Cobb升高14.1 g/m2，撕裂性能提高了48 mN，抗张性能提高了1.69 kN/m。木素含量减少，木质素纳米纤维素的疏水性能降低，机械性能提高。

关键字 木质素纳米纤维素物理性能

分类：主题 B 纳米纤维素的基础理论和功能

459

**纳米沸石@纤维素纳米纤维气凝胶止血材料**

张强

华东师范大学

沸石类无机矿物颗粒是重要的一线止血材料。沸石通过快速吸收水分实现凝血，但同时释放热量，导致组织灼伤，影响伤口愈合[1]；此外，沸石颗粒容易脱落并粘附在伤口部位，不利于清创，存在诱发炎症风险[1]。为此，我们利用羧甲基化纤维素纳米纤维作为模板，利用原位合成和离子交换技术，制成纳米钙沸石@纤维素纳米纤维的复合材料（zeolite NP@CNF，Figure 1a），并通过冷冻干燥技术制成止血气凝胶。纳米沸石具有疏松多孔结构（Figure 1b），拥有大的比表面积，有利于快速凝血；此外，纤维素纳米纤维表面羧基也有助于激活凝血通路，提高凝血效率[2,3]。实验证明zeolite NP@CNF气凝胶在低沸石含量情况下，就可以实现有效止血，同时降低热量释放。纤维素表面的羧基还有利于纳米沸石与纤维的结合，宏观上表现为沸石不容易从纤维素表面脱落，有利于快速清创，降低了副作用风险。本项目研究证实zeolite NP@CNF气凝胶有望成为一种高效、安全的新型止血材料。

关键字 纤维素纳米纤维，纳米沸石，止血气凝胶

分类：主题 B 纳米纤维素的基础理论和功能

463

**纳米晶纤维素对小鼠便秘的治疗与机制研究**

查瑞涛、王明政

国家纳米科学中心

便秘是世界范围内常见的胃肠道疾病。随着饮食结构改变、生活节奏加快和社会心理因素影响，便秘的患病率呈上升和年轻化趋势。NCC是一种来自植物纤维的纳米材料，与传统不可溶性膳食纤维相比，NCC粒径小，比表面积大，亲水性强；与可溶性膳食纤维相比，其吸附能力更优异。通过地芬诺酯混悬液诱导了小鼠便秘模型，探究了NCC对小鼠便秘的治疗效果及机理。

NCC可以显著缩短小鼠的排便时间并提高小鼠的排便频率，有效恢复便秘引起的肠道受损。血清中VIP、SS、ET-1、MTL和SP的水平是与便秘相关的生物标志物，可以衡量便秘的程度。NCC可以降低血清中VIP、SS、AchE和ET-1的水平，提高血清中MTL和SP的水平，且随着剂量的增加，调控效果提升。

NCC可以提高肠道中DCA、UDCA、CDCA、乙酸、丁酸、L-哌啶酸、L-鸟氨酸和L-赖氨酸的含量。其中，DCA、UDCA和CDCA可以提高肠道转运速率，改善肠道功能；乙酸和丁酸可以刺激肠道平滑肌，改善结肠肌肉收缩和肠道运动；而L-哌啶酸、L-鸟氨酸和L-赖氨酸是与便秘的生化和免疫指标有关的重要代谢产物。

NCC可以提高肠道菌群的多样性，增加乳杆菌属、普雷沃氏菌属和厌氧棍状菌属的相对丰度，而乳杆菌属可以提高肠道中DCA、UDCA、CDCA、乙酸、丁酸、L-哌啶酸、L-鸟氨酸和L-赖氨酸的含量，普雷沃氏菌属和厌氧棍状菌属可以提高肠道中乙酸和丁酸的含量。因此，NCC可以通过提高肠道菌群多样性和益生菌相对丰度促进脂肪酸代谢、胆汁酸生物合成和氨基酸代谢等通路，从而促进肠动力，治疗便秘。

NCC可以作为药物和膳食纤维的替代剂用于便秘治疗。与传统便秘药物相比，NCC不会引起肠道神经损伤；与胆汁酸转运蛋白抑制剂Elobixibat相比，NCC不会引起腹泻；与膳食纤维相比，NCC用量更低且治疗效果更好。

关键字 纳米微晶纤维素，肠道疾病

分类：主题 B 纳米纤维素的基础理论和功能

474

**平行纤维素链间相互作用力学性能研究**

万嘉1,2、罗传富1,2

1. 中国科学院长春应用化学研究所

2. 中国科学技术大学应用化学与工程学院

纤维素是由 D-吡喃葡萄糖单元通过 β-1，4-糖苷键连接而成的线性聚合物，具有很高的轴向模量[1]。近年来，分子动力学模拟等手段在对纤维素分子尺度方面的研究发挥了重要的作用 [2]，但对于单链纤维素间的相互作用及其力学性能的研究仍然存在空白。本研究使用分子动力学模拟对两条平行纤维素链间的相互作用进行研究，探究了不同剪切速度对纤维素链间相互作用的影响。在不同剪切速度下，两条平行纤维素间响应力都随距离变化呈现以一个葡萄糖重复单元距离为周期的锯齿状波动，这可能是因为纤维素链间氢键的破坏重组。

关键字 纤维素单链，纤维素双链，氢键，分子动力学模拟，拉伸力学性能

分类：主题 B 纳米纤维素的基础理论和功能

488

**氨基硅烷改性纳米纤维素对老化纸质文献的加固研究**

吴婷、牟洪燕、吴潇、唐吕、冯露

华南理工大学

        纸质文献记录了不同时代、不同国度的历史文明，其价值不可估量。然而，纸张的老化严重威胁纸质文献的使用和保存寿命，因此，对老化纸张的加固修复刻不容缓。本研究采用3-氨丙基三乙氧基硅烷（APTES）对细菌纤维素（BC）进行化学改性，优化亲水性BC与老化纸张的界面结合，从而提高老化纸张的机械性能以及抗老化性能。通过探究APTES浓度、反应温度和反应时间对BC改性及修复后老化纸张各性能的影响。从而得出，BC与5%(W/W) APTES在80℃下反应4 h后，修复后老化纸张的撕裂指数、抗张指数和耐折度分别提高了87.89%、92.96%和304%，其白度和色差变化不大。经APTES-BC修复的纸张湿热老化15天后，其强度仍保持在初始强度的50%左右。研究结果表明，氨基硅烷改性纳米纤维素在老化纸质文献的加固与保存方面具有潜在的应用前景。

关键字 纳米纤维素；氨基硅烷化；纸张文献；加固；耐久性

分类：主题 B 纳米纤维素的基础理论和功能

503

**纤维素纳米球粉体制备及组装机理**

刘冰瑞，李玉艳，袁媛\*，张建明\*

青岛科技大学，高分子科学与工程学院，山东青岛 266042

\*[[2]](#footnote-1) yuanyuan@qust.edu.cn，zjm@qust.edu.cn

为了探究纤维素纳米球（CNS）简易制备工艺，我们选取磷酸对纤维素进行水解处理，对比了磷酸水解法制备CNS的过程中反应时间对CNS形成的结构影响及CNS粉体性能的差异。并在磷酸水解4-11 h的时间中成功制备了带有磷酸酰基的纤维素II晶型的CNS粉体，其产量在65-82%之间、具有不同尺寸（530 nm-1.3 μm）及结晶度（69-75%）的CNS粉体。当水解反应在4-8 h时，CNS的尺寸出现增长，从860 nm增长至1.3 μm，其分子量出现急速下降，当水解时间进一步的延长，水解时间超过8 h后，CNS尺寸开始减小直至530 nm，分子量保持恒定。这实现了CNS的多尺度调节。之后对CNS的性能进行了对比，磷酸水解得到的CNS在氮气环境下的热稳定性随着水解时间的增长而降低。在空气中的加热CNS粉体来观察其热稳定性发现，CNS粉体在210 °C才开始出现热降解变色。最后我们通过磷酸水解制备的CNS在不同反应时间其分子量及其结构的变化讨论总结了CNS的形成机理。即溶解-再生和酸降解的协同作用导致了CNS自组装的形成。

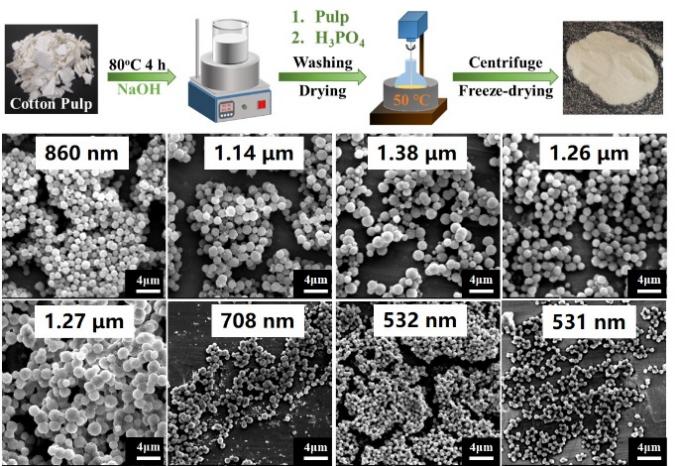
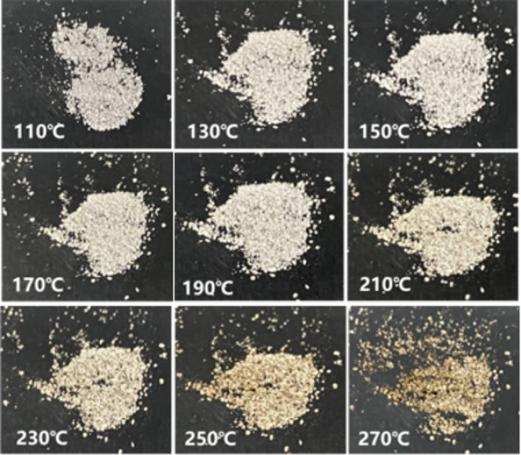
 

Figure 1. 磷酸酸解法制备CNS粉体 Figure 2. CNS粉体的空气热稳定性

参考文献：

Bingrui Liu, Yuan Yuan\*, Jianming Zhang\*, et al. Controllable self-assembly of cellulose nanospheres through phosphoric acid triggered dissolution-regeneration and degradation, International Journal of Biological Macromolecules, [doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.125119](https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.125119" \t "_blank" \o "Persistent link using digital object identifier).

分类：主题 B 纳米纤维素的基础理论和功能

504

**电刺激响应型手性向列相纳米纤维素**

屈丹\*

西安电子科技大学，物理学院，西安， 710071

\*[qudan@xidian.edu.cn](mailto:qudan@xidian.edu.cn)

手性向列型纳米纤维素 (NCC) 复合材料可以在外界刺激下， 如机械力、电场、 湿 度等， 产生微纳结构和光学性质变化，在智能材料领域有重要潜在应用[1-5]。我们研究了 NCC 在电场中不寻常的结构响应性。当分散在非极性溶剂，如甲苯时， NCC 和电场响 应使其螺旋轴垂直于电场方向排列，呈正双折射[4]。随着电场强度增加，螺距增加；随 着频率增加， 螺距减小。 在高频率时， NCC 沿螺旋轴方向被拉伸； 低频率时， 沿垂直于 螺旋轴方向被拉伸，但螺旋轴都垂直于电场方向排列。 令人惊喜的是当 NCC 分散在极 性溶剂， 如水中时， 随着电场强度和频率的变化， 除了意料之中的正双折射还会产生不 寻常的负双折射现象[5]。在高频率低电场强度时， NCC 螺旋轴垂直于电场方向排列， 呈 正双折射， 且螺距随着电场强度增加而增加； 但随着电场强度继续增加， NCC 螺旋轴旋 转 90o，平行于电场方向排列， 呈不寻常的负双折射现象。在低频率低电场强度时，NCC 螺旋轴平行于电场方向， 呈负双折射， 且随着电场强度增加， 螺距减小； 随着电场强度 的继续增加，胆甾型结构解旋为向列型结构。

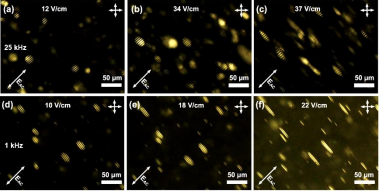


Figure 1. Structural evolution of chiral nematic nanocrystalline cellulose at different electric field. 参考文献：

[1] Dan Qu, Orlando J Rojas, Bing Wei, Eyal Zussman. *Adv.* *Opt.* *Mater.* 2022, 10(22), 2201201.

[2] Dan Qu, Hongzhi Zheng, Haijing Jiang, Yan Xu, Zhiyong Tang. *Adv.* *Opt.* *Mater.* 2019, 7(7), 1801395. [3] Dan Qu, Guang Chu, Patrick Martin, Gleb B. Vasilyev, Rita Vilensky, Eyal Zussman. *ACS* *Appli.* *Mater.*

*Interfaces* 2019, 11(43), 40443.

[4] Dan Qu, Eyal Zussman. *J.* *Phys.* *Chem.* *Lett.* 2020, 11(16), 6697.

[5] Dan Qu, Eyal Zussman. *Adv.* *Opt.* *Mater.* 2022, 10(5), 2101659.

分类：主题 B 纳米纤维素的基础理论和功能

506

**水稳定性纤维素纳米晶**

李琼雅，张福生，卿光焱\*

中国科学院大连化学物理研究所，辽宁省大连市 116023

\*[[3]](#footnote-2) [qinggy@dicp.ac.cn](mailto:qinggy@dicp.ac.cn)

纤维素纳米晶体是一种理想的生物手性光子材料。它将化学、物理、光学和机械性能集于一身。它是以棉花，做为源料，通过硫酸催化水解得到，进而利用蒸发诱导自组装干燥，可以形成手性向列结构膜。该膜具有一维的光子结构色，多层有序的螺旋结构，和强烈的圆二色吸收。因此，CNC材料在物理化学传感、手性化学和高性能材料制备方面具有优势。这些CNC材料在使用过程中存在着诸多问题，1）CNC含有丰富的羟基，周期性地排列，使它们形成一个强大的氢键网络。这种结构限制了分子运动和能量耗散，导致CNC材料弯折易脆。2）强吸水性导致它们的水不稳定性。3）CNC与疏水性聚合物的兼容性较差，不能进行直接复合。为此，我们从CNC材料的问题出发——开展了水稳定性CNC高性能材料的制备和开发。拟报告三方面的研究工作：高韧性、可拉伸的纤维素弹性体光子膜；多模式、可转换的手性光子防伪膜（图1）；[1] 用于汗液中Ca离子检测的CNC可穿戴器件。[2]

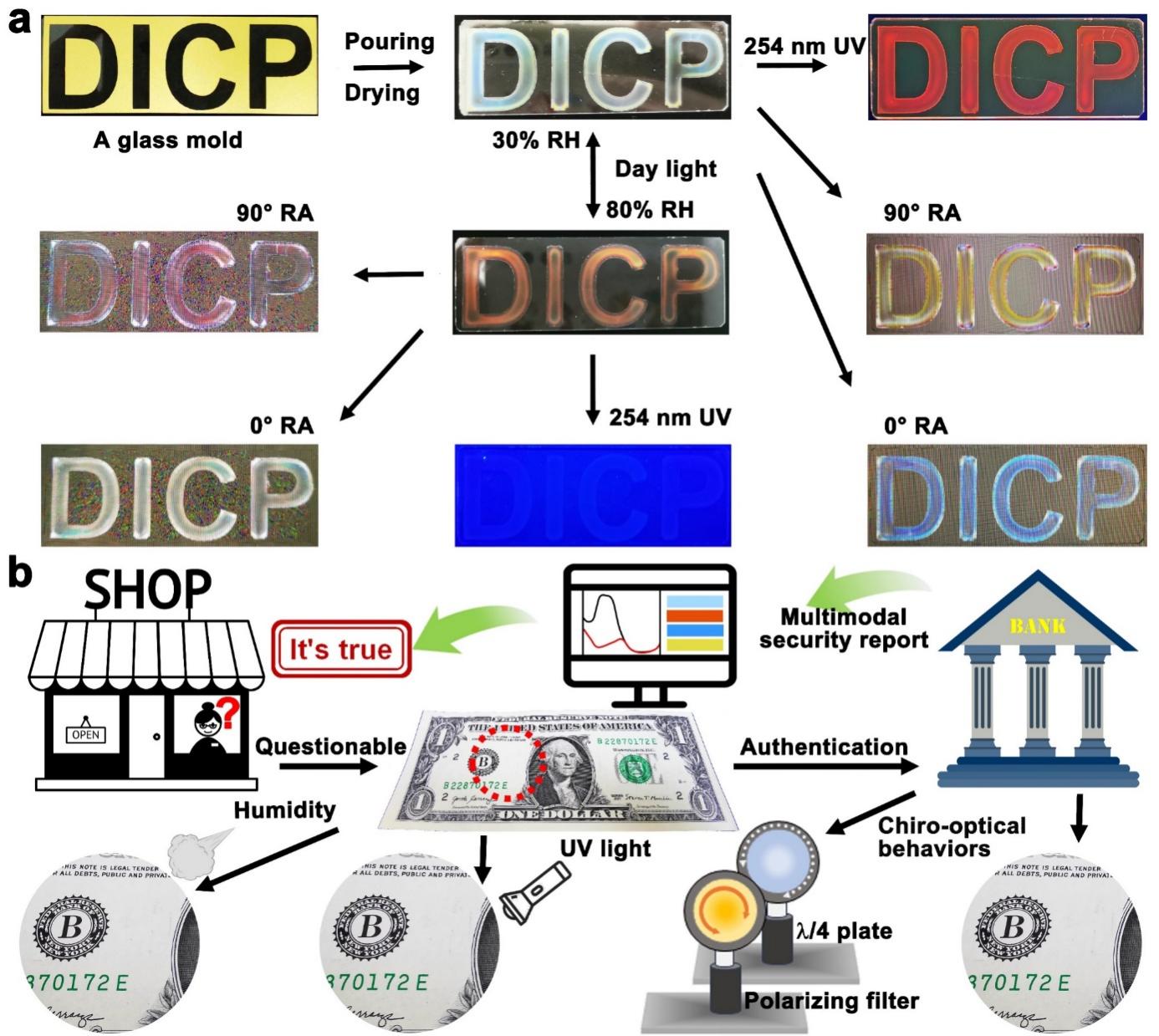


Figure 1. 基于纤维素纳米晶的偏光防伪图案.

参考文献：

[1]      Zhang, F. S.; Qing, G. Y.,\* *et al*. Adv. Funct. Mater. 2022, 32, 2204487.

[2]      Li, Q. Y.; Zhang, F. S.; Qing, G. Y.,\* *et al*. Small 2023, 2207932.

分类：主题 B 纳米纤维素的基础理论和功能

509

**基于纤维素酯的功能结构构筑研究**

王永贵

东北林业大学

纤维素是地球上最丰富的生物质资源，利用纤维制备环境友好型功能高分子和材料 是当前天然高分子研究领域的热点之一。围绕功能性纤维素衍生物的高效合成路径、功 能性组装结构调控机制展开系列研究。以微晶纤维素或纤维素纳米晶为原料，通过非均 相酯化反应在纤维素纳米结构单元或分子链中引入碳碳双键、溴代烷烃等含活性末端基 中间体，随后通过巯基-烯点击化学反应、季胺化反应、共聚交联等制备了智能膜、抑菌 纳米颗粒、相变储能胶囊等系列纤维素基功能材料，建立了纤维素基多尺度功能组装结 构成型理论和方法。例如：通过酯化反应合成具有核壳结构的纤维素纳米单元，并通过 巯基-烯点击化学反应在壳层引入柔性间隔基和相变结构单元，成功构筑了具有固相条 件下可逆、自修复性能的纤维素纳米单元智能组装结构，展现出在热致成像、智能表面 等领域的功能用途。

分类：主题 B 纳米纤维素的基础理论和功能

510

**具有保温、阻燃和力学增强的绿色可持续木质纤维素气凝胶**

孙晓晗，王成毓\* ，刘一繁， 王方邈

东北林业大学， 黑龙江省哈尔滨市香坊区和兴路 26 号， 150040

\*[wangcy@nefu.edu.cn](mailto:wangcy@nefu.edu.cn)

随着城市化程度不断提高，建筑能耗比例持续增高， 为实现可持续发展，制备具有 保温、阻燃和机械性能的生物质气凝胶材料十分重要[1] 。同时，在室内建筑中，医疗保 健也收到越来越多的关注。然而， 这些特征往往伴随着有毒或对环境有害的化学物质的 加入， 而现有气凝胶无法同时获得优异的综合性能。 本文介绍了一种新型木质纤维素气 凝胶， 通过低共熔溶剂处理， 再与电气石颗粒混合， 以提高其结构稳定性、阻燃性和力 学性能。得到的气凝胶的总放热率和峰值放热率分别比未添加电气石的木质纤维素气凝 胶降低了 62.0%和 66.3%，导热系数为 0.29 W ·m−1·K−1，具有良好的保温性能。同时， 电 气石的存在丰富了气凝胶的孔隙结构， 有助于负氧离子的释放， 起到保健和环境净化的 作用。 通过生命周期评估对比，本气凝胶具有良好的环保性。本方法制备的绿色环保的 木质纤维素气凝胶， 具有良好的阻燃性、隔热性、 力学强度和负氧离子释放性， 在家居 装饰和建筑行业具有巨大的应用潜力。

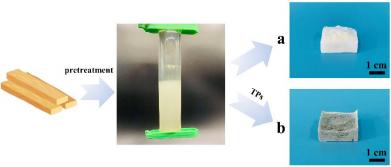


Figure 1. Preparation process of lignocellulosic aerogel.

参考文献：

[1] Jiaming Sun, Zhenwei Wu, Bang An, Chunhui Ma, Lifei Xu, Zhanshuo Zhang, Sha

Luo, Wei Li , Shouxin Liu. Composites Part B: Engineering 2021(220):108997.

分类：主题 B 纳米纤维素的基础理论和功能

511

**纳米纤维素基复合气凝胶的结构调控及性能研究**

孙佩佩1,2，王猛1, 2\*，郭龙锁1, 2,武婷婷1,2，张静1,2

1，山东省科学院新材料研究所，济南，250013；2，齐鲁工业大学，济南，250353

\*[[4]](#footnote-3) wangmeng@sdas.org

纤维素是自然界中最丰富的生物基绿色聚合物，也被认为是对整个人类最有影响的绿色材料[1]。纳米纤维素是从天然纤维素中分离得到，其半径通常不足50 纳米，长度则在数百纳米至几微米范围之内。纳米纤维素气凝胶具有绿色可循环使用性、出色的生物相容性、优秀的环境友好性和易于分解为无害材料的特性，同时还具备了传统气凝胶的优点（质量轻、孔径分布良好和大比表面积），使其在吸附、隔热、能量储存方面得到了广泛应用[2]。本工作以针叶木硫酸盐浆作初始原料，通过TEMPO氧化高压均质处理后得到氧化纳米纤维素（TOCN），以其为骨架材料，然后与聚乙烯醇，有机改性蒙脱土、Zif、Mxene及石墨烯等纳米片共价键交联制备复合气凝胶。研究表明，复合气凝胶具有优异的力学性能，在吸附及能源领域具有广泛的用途。

Figure 1. Digital camera of aerogel and TEM images of CNF.

参考文献：

[1]Salama A. Cellulose/silk fibroin assisted calcium phosphate growth: Novel biocomposite

for dye adsorption [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2020, 165 (Pt B):1970-1977.

[2]Zhou X, Fu Q, Liu H, et al. Solvent-free nanoalumina loaded nanocellulose aerogel for efficient oil and organic solvent adsorption [J]. Journal of Colloid and Interface Science, 2021, 581 (Pt A): 299-306.

分类：主题 B 纳米纤维素的基础理论和功能

513

**高柔性高隔热纤维素纤维复合气凝胶**

成艳华

Donghua University

随着航空航天技术的发展，隔热材料应用环境更加复杂多变。如面向以火星为代表的深空探测，传统空间用多层隔热组件MLI (多层镀铝聚酯薄膜)在火星稀薄大气环境中（0.636 kPa; -110 oC ~ 35 oC），由于气体传导和对流换热显著，其隔热性能将大幅降低，不能满足实际使用需求。纳米纤维复合气凝胶具有介孔结构特征，孔径尺寸小于空气分子平均自由程，消除了热对流的影响，且显著降低气体热传导，结合其高回弹高柔韧性特征，有望替代现有MLI隔热组件应用于火星探测航天服高效隔热层。本团队基于“分子杂化制备-介观杂化组装-宏观杂化集成”多层级全链条杂化设计，开发的新一代功能纤维素纳米纤维复合气凝胶具有高绝热性、高回弹、高柔韧、低密度和超疏水等特性，有望应用于航空航天与国防军工领域。

参考文献：

[1] Zhang Junyan, Zheng Junjie, Gao Mengyue, Xu Chengjian, Cheng Yanhua\*, Zhu Meifang\*. Advanced Materials, doi.org/10.1002/adma.202300813.

[2] Zhang Junyan, Cheng Yanhua\*, Xu Chengjian, Gao Mengyue, Zhu Meifang\*, Jiang, Lei. Advanced Functional Materials, 2021, 31(19): 2009349.

[3] Zhang Junyan, Cheng Yanhua\*, Tebyetekerwa Mike, Meng Si, Zhu Meifang\*, Lu Yunfeng. Advanced Functional Materials, 2019, 29(15): 1806407.

[4] Zhang Junyan, Meng Si, Chen Wenping, Cheng Yanhua\*, Zhu Meifang. Acta Polymerica Sinica, 2021, 52(1): 69-77.

分类：主题 B 纳米纤维素的基础理论和功能

520

**半纤维素的分离及转化为功能材料的研究**

彭锋

北京林业大学

当前溶解浆和黏胶纤维工业产生大量的工业副产物木聚糖类半纤维素的高值化利用问题严重影响产业发展，是企业亟待解决的问题之一。木聚糖类半纤维素分子内氢键结合强度大赋予了其结晶性从而导致了其成膜性能极差且韧性低；与此同时，多羟基的亲水表面使半纤维素在潮湿的环境下极易吸水导致材料结构被破坏。这是长期制约木聚糖类半纤维素材料工业化应用的主要瓶颈。针对上述问题，提出了均相与非均相木聚糖化学改性方法，通过化学改性赋予木聚糖特有的性能，极大的增加了其木聚糖的可加工性；成功构筑了一系列木聚糖衍生物及功能材料如纳米粒子、水凝胶和功能膜材料，拓展了木聚糖在药物缓释、涂层和包装等领域的应用。我们利用常温高碘酸钠氧化法实现了木聚糖在水相中转变为无定形且具有较高分子量的线型醛基木聚糖，随后将其作为液态金属大分子稳定剂，超声制备了具有反应活性的多功能生物质基液态金属墨水。结果表明，醛基木聚糖在水相中能够很好的稳定液态金属，纳米墨水呈球形且尺寸在200-400 nm之间可调，与其他纤维素衍生物及低分子量支化木聚糖相比，醛基木聚糖能够稳定液态金属达10天，对纸张、织物等具有良好的润湿性，且能保持液态金属良好的胶体及物理稳定性。此外，醛基木聚糖具一定还原性，使其能在室温下快速引发单体聚合（<20 S），进一步利用醛基的反应活性，引入壳聚糖通过席夫碱反应制备了具有双网络结构的凝胶材料，该凝胶材料能作为传感器对人体复杂运动进行检测。木聚糖类半纤维素的高值化利用研究对农林生物质细胞壁全组分利用、减少环境污染、提高制浆造纸产业的经济效益，同时替代石油基产品，具有理论和实际意义。

分类：主题 B 纳米纤维素的基础理论和功能

523

**纤维素纳米晶组装诱导发光材料**

甘霖、黄进

西南大学

纤维素纳米晶自组装结构显示出偏振、结构色、光致发光增强等特殊的光学特性，在光学防伪、信息加密、装饰等领域显示出极大的应用潜力。基于纤维素纳米晶不对称维度效应，发展了动力学因素主导、多力场协调的单轴定向组装方法及组装诱导发光的策略[1]，创新了等离激元发光增强机制叠加的物质协同与立构微环境设计思路与构建方法[2]，发展了基于表面电荷分布调控与物质共组装的阵列取向优化、功能集成与物质定向转化技术[3-5]，实现了固态发光量子产率10个数量级的提升并达到60%以上，推出了具有光学防伪应用潜力的膜、颗粒等形式的生物基棒状纳米颗粒组装诱导发光甚至激发依赖性长余辉发光材料。

[1] Lin Gan, Na Feng, Siyuan Liu, Shuyu Zheng, Zhen Li, and Jin Huang. Assembly-Induced Emission of Cellulose Nanocrystals for Hiding Information. Particle & Particle Systems Characterization 2019, 3(36), 1800412

[2] Shuyu Zheng, Siyuan Liu, Bo Xiao, Liu Liu, Xinjie Wan, Yanbin Gong, Siqi Wei, Chenglong Luo, Lin Gan, Jin Huang. Integrate nanoscale assembly and plasmonic resonance to enhance photoluminescene of cellulose nanocrystals for optical information hiding and reading. Carbohydr. Polym., 2021, 253(1), 117260.

[3] Xuhong Wang, Na Feng, Zhenxu Shi, Na Zhou, Jun Lu, Jin Huang, Lin Gan. Stimuli-responsive flexible membrane via co-assembling sodium alginate into assembly membranes of rod-like cellulose nanocrystals with an achiral array. Carbohydr. Polym., 2021, 262, 117949.

[4] Siyuan Liu, Zhenxu Shi, Xuhong Wang, Yanbin Gong, Xijun Li, Xin Jia, Lin Gan, Jin Huang. Quantum-efficiency enhancement and mechanical responsiveness of solid-state photoluminescent flexible materials containing uniaxial cellulose nanocrystal arrays. Cellulose, 2022, 29,1393-1403.

[5] Zhenxu Shi, Weiwei Zhao, Yue Zhang, Dimei Yang, Lin Gan, and Jin Huang. Triply hiding optical information via excitation-dependent allochroic photoluminescence based on cellulose derivates. Small, 2022, 220569

关键字 纤维素纳米晶；单轴定向组装；组装诱导发光

分类：主题 B 纳米纤维素的基础理论和功能

544

**环状拓扑形貌纤维素纳米晶的构筑、形成机理及其位阻致孔效应的研究**

徐永建1，杜鹏1，陈浩1，张永奇2

（1.陕西科技大学轻工科学与工程学院，陕西西安，710021。2.四川轻化工大学）

[\*xuyongjian@sust.edu.cn](mailto:*xuyongjian@sust.edu.cn)

纤维素材料具有可再生、可降解、生物相容性好、化学性能稳定、力学性能好等特点[1, 2]。通过化学、机械、酶解等方法可分离制备出不同形态结构、不同形态尺寸的纳米纤维素，如棒状纤维素纳米晶（R-CNC）、纤维素纳米纤丝（CNF）、球形纳米纤维素（SNC）[3]以及片状纳米纤维素（CNS）[4]。我们采用高强超声诱导近原纤尺寸R-CNC弯曲环化为中空环状拓扑形貌CNC（Ring-topologically CNC，RT-CNC）[5]。这种新形貌RT-CNC与R-CNC和SNC完全不同，具有显著的中空环状特征，提出RT-CNC能够产生显著的“位阻致孔”效应的观点。以漂白竹浆为原料，探究了不同超声功率对基元棒状纤维素纳米晶（eR-CNC）的影响。采用真空抽滤法制备了CNF/RT-CNC薄膜，结果表明：CNF/RT-CNC薄膜的透气度为6.70 µm/(Pa•s)，相较于CNF薄膜（2.50 µm/(Pa•s)）提高了168%。RT-CNC在复合滤材、生物医药等方面显示出良好的应用前景。

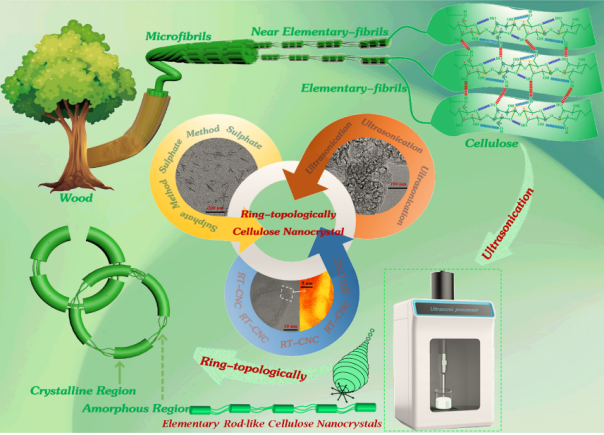
****

Fig.1 Preparation and morphological transformation of eR-CNCs.

图1 eR-CNCs的制备和形貌转化示意图

参考文献：

[1] Xie J, Liu S. A review of hydrophobic nanocellulose and its applications[J]. Paper and Biomaterials, 2021, 6(2): 35-42.

[2] Trache D, Tarchoun A F, Derradji M, et al. Nanocellulose: from fundamentals to advanced applications[J]. Frontiers in Chemistry, 2020, 8: 00392-00408.

[3] Sinquefield S, Ciesielski P N, Li K, et al. Nanocellulose dewatering and drying: current state and future perspectives[J]. ACS Sustainable Chemistry & Engineering, 2020, 8(26): 9601-9615.

[4] Huang D, Wu M, Wang C, et al. Effect of partial dehydration on freeze drying of aqueous nanocellulose suspension[J]. ACS Sustainable Chemistry & Engineering, 2020, 8(XXX): 11389-11395.

[5] Xu Y, Gao M, Zhang Y, et al. Cellulose hollow annular nanoparticles prepared from high-intensity ultrasonic treatment[J]. ACS Nano, 2022, 16(6): 8928–8938.

分类：主题 C 纤维素的高效绿色转化

7

**水相体系中“类酶”催化剂的设计制备与纤维素高效水解成糖**

那海宁、张震宇、陶育宏、耿茂富、代月文、朱锦

中国科学院宁波材料技术与工程研究所

将自然界中储量丰富的非粮可再生生物质纤维素水解成糖，是通过分子拆解将其转化利用为生物基碳源的关键控制步骤，是转化制备高品质生物基能源、材料的重要起点，对补充替代化石资源、支撑绿色发展、践行“双碳”战略目标具有重要作用。在低酸水相体系中实施纤维素的高效化学催化水解成糖，是促进稳定催化转化、糖产物简便分离收集、有效避免副反应的必要方式。通过研究水相体系中纤维素“顽固”致密自聚集结构的打破，结合纤维素分子结构的特点，设计制备出具有强羟基吸附性的固体催化剂，通过反应体系中的“类酶”催化，在温和条件下实现了纤维素的高效水解成糖。研究表明，在酸浓度仅为0.02mol/L的全水相体系中，150℃下仅15min微波驱动可获得水解转化率100%，还原糖产率96%±4%，葡萄糖超过73%的水解效果。

关键字 纤维素；水解；“类酶”催化剂

分类：主题 C 纤维素的高效绿色转化

14

**毛细力驱动细胞壁重组装自密实木材基透明薄膜的可持续制备**

陈风1,2、Ingo Burgert2

1. 光电化学材料与器件教育部重点实验室，江汉大学，武汉

2. Wood Materials Science Group, ETH ZürichZürich, Switzerland

透明木材和超强木材是近年来发展起来颠覆创新的高性能木质纤维素基新材料，然而这种基于树脂填充/机械热压的自上而下加工策略仍存在着（i）树脂填充量大，降低了木材作为生物可降解材料的可持续性（ii）对压力机械依赖大且只能单向密实木材，易造成木材骨架纵向崩解的缺点，大尺度与更加可持续地制备木材基新材料对当前加工策略提出了更高的要求。受启发于生活中常见的毛细收缩现象，我们建立了一种基于毛细力驱动双向自密实的微纳加工新策略，仅利用离子液体-水混合溶剂在常温物理溶胀木材骨架（实现细胞壁原位纤丝化与柔化），即可借用干燥过程的毛细力在微纳尺度实现细胞壁自密实重组装形成具有层状结构的透明薄膜（透光度> 70%）。制备得到的自密实透明薄膜具有低密度，但表现出优异的机械性能，相比于去除木质素木材骨架，在纤维方向上透明木材薄膜的拉伸强度（~270 MPa）和模量（~30 GPa）均提高了5倍。该策略不仅有效避免了现有自上而下木材加工策略的缺点，还能用于构筑多维度木材基新材料。我们提出了一种可持续制备全木材基透明薄膜的木材纳米加工新技术，在生物质可持续高值转化方面有着重要研究价值和科学意义。

关键字 木材细胞壁；毛细力；溶胀；自密实；透明薄膜

分类：主题 C 纤维素的高效绿色转化

16

**单分散纤维寡糖的高效制备与功能化**

李唯1、Yoshiharu Nishiyama2、Yu Ogawa2

1. 北京理工大学

2. CERMAV-CNRS

结构决定性能，但从分子层面精准调控纤维素超分子结构具有挑战性。单分散纤维寡糖（MCOs）具有易溶解、分子链短、分子量均一、分子定向性和化学活性高等优势，在精准调控晶体结构及制备新型功能纳米材料方面具有巨大潜力。然而，MCOs的制备通常存在制备工序繁琐、耗时、产率低、成本高，难以实现大规模生产等问题。Isogai和Usuda [1] 于1991年报道了常温放置8周的纤维素/磷酸溶液在水和甲醇中再生，意外得到了聚合度分别为7和15的MCOs。虽然该方法操作简单且高效，但30年来该制备方法的机制一直不清晰，而过长的制备时间极大阻碍该方法的推广及工业化应用。本研究通过自编程序模拟了纤维素酸解过程，并发现了溶剂分离法制备MCOs的机理，即不同分子量的纤维素寡糖在不同溶剂中的溶解度不同，因此该方法的水解时间由8周被缩短成几十分钟，使之成为最高效便捷的MCOs制备方法。基于该机理，通过改变水解条件和再生条件已成功制备20种不同分子量及其分布的MCOs，并通过功能化改性与结构调控，在提升纳米酶催化性能和抗冻等领域表现优异。

参考文献：[1] Isogai, A., Usuda, M. Mokuzai Gakkaishi 1991, 37 (4): 339.

关键字 单分散纤维寡糖；分子量；纳米酶

分类：主题 C 纤维素的高效绿色转化

24

**纤维素和木质素三维结构构建及在能源存储中的应用**

闫立峰、邓永琦、王宏飞、马中正

中国科学技术大学

木质纤维素生物质是世界储量和分布最丰富的资源之一，由于其组分的可再生性和丰富的官能团，促使其在多领域有着广泛的应用。其中应用最多的组分为纤维素和木质素，这两者均含有大量的含氧官能团，使得其反应性和修饰的可能性大大提高，并与多种材料有着复合的亲和性。这些特性也同样可以用于于储能材料和器件中，特别是在凝胶准固态电解质和电极活性成本反面。

采用一锅法制作了含部分纤维素纳米纤维的纤维素与还原石墨烯复合膜，通过掺入少量的DES和纤维素促进了还原石墨烯的分散。氢氧化胆碱和L-鸟氨酸盐酸盐组成的DES加热溶胀漂白纤维素，并通过超声处理促使纤维素分散并剥离出部分纤维素纳米纤维，并且由于DES的强氢键相互作用力阻止了还原石墨烯的聚集。此复合膜具有良好的弯折性和高导电性。通过电化学测试，由于氮原子的引入和石墨烯良好的还原效果，其具有高面积比电容（电流密度为1 mA/cm2时达到382 F/cm2）和良好的循环稳定性（在10 mA/ cm2时，3000个循环中电容损失为6%）。

关键字 纤维素；木质素；三维结构；能量存储

分类：主题 C 纤维素的高效绿色转化

58

**纤维素/金属复合材料的制备及应用**

康宏亮、刘瑞刚

中国科学院化学研究所

纤维素是由葡萄糖组成的大分子多糖，是植物细胞壁的主要成分，地球上储量最丰富的生物质资源。价格低廉，可生物降解，符合环保要求。纤维素分子结构中含有大量的活泼羟基，通过不同的化学反应，可以制备不同性能的纤维素功能材料。本文主要通过衍生化的方法制备功能性纤维素衍生物，吸附金属离子，通过原位还原反应制备纤维素/金属复合材料，如纤维素/银纳米复合材料，研究其结构与性能的构效关系，探讨其在不同领域的应用。

关键字 功能材料

分类：主题 C 纤维素的高效绿色转化

97

**高聚合度醋酸纤维素的合成研究**

李力成、高尔东

南京林业大学

醋酸纤维素是重要的纤维素衍生物之一，其机械性能优良与否直接决定以醋酸纤维素为基材的产品质量，其中聚合度是影响醋酸纤维素机械性能的重要结构参数[1]，目前市售醋酸纤维素的聚合度约200~300左右，如何提高醋酸纤维素聚合度对于其应用具有重要意义。

本文报道以细菌纤维素为原料，通过固体酸催化细菌纤维素发生乙酰化反应，再进一步优化反应条件，可以获得聚合度500以上的醋酸纤维素，且取代度为2.82，能够完全溶于二氯甲烷中；将这种醋酸纤维素制成薄膜，其拉伸强度可达47.65 MPa，明显优于市售醋酸纤维素。综合分析，笔者认为原料和催化剂是影响醋酸纤维素聚合度的两个重要因素：一方面，细菌纤维素的聚合度高达10000以上，而且细菌纤维素无需经历木质纤维素的苛刻制浆工艺便可用于乙酰化反应；另一方面，由于存在空间位阻，固体酸的酸性位较难作用到葡萄糖环之间的b-糖苷键，在乙酰化过程中b-糖苷键断键相对较少。基于这方面因素共同作用，故能够获得高聚合度醋酸纤维素。

关键字 细菌纤维素，固体酸，乙酰化，醋酸纤维素

分类：主题 C 纤维素的高效绿色转化

155

**活性Ir-W定向催化纤维素氢解制乙醇**

翁育靖

河南理工大学

纤维素乙醇是我国燃料乙醇的最佳方案之一，也有利于解决能源、环境、“三农”等问题。纤维素水热加氢制乙醇是其新合成方法，能突破生物法的技术瓶颈，但其目前处于研究初级阶段，缺乏复杂反应网络有效控制和高浓度纤维素转化技术。本文针对纤维素乙醇多步骤反应-传质耦合的特点，围绕着关键步骤的定向催化和耦合调控的科学问题，以仿生结构的三维多孔富表面活性羟基和氧缺陷的纳米钨催化剂为切入点，通过孔的限阈效应和表面官能团化提供纤维素导向传质的多重结合作用，通过高分散的团簇金属活性中心的设计提供高效的氢解作用，最终实现纤维素解聚过程中“导向传质、定向催化和耦合调控”的方案1, 2。拟重点研究“介孔钨催化剂的可控制备及其活性相演化分布规律的探索”、“水热催化体系中糖类逆羟醛缩合的可控反应机制研究”、“纤维素乙醇的多步骤反应-传质的耦合调控机制研究”三方面的内容。通过本文的研究，最终为生物质纤维素定向氢解制燃料乙醇的技术突破提供新的思路和理论基础。

关键字 接力催化，纤维素，氢解，乙醇，钨催化剂

分类：主题 C 纤维素的高效绿色转化

156

**定向活化生物质醛糖逆羟醛缩合制备乙醇酸类产物**

邹敏、刘旭颖、翁育靖、张玉龙

河南理工大学

生物质醛糖来源广泛，天然无污染，性质活泼，同时含有羟基和醛基的性能，能发生加氢、逆羟醛缩合、氧化等反应，这些反应受反应参数（即温度、气氛、初始浓度、PH值）、溶剂和催化剂的显著影响[1]。因其性质活泼，产物较复杂，所以定向活化是目前研究的重点和难点。本研究通过控制实验条件，以醛糖为原料，纯水为溶剂，在30-200℃的温和反应条件下反应制备乙醇酸类产物，反应中铂金属催化剂表现出良好的性能，比表面积大、活性高。在此催化剂存在下原料转化率达到100%，产物收率和选择性都能够达到90%以上，低温活化能达到30KJ/MOL。为可降解塑料单体乙醇酸的制备提供一条方便简洁、绿色环保的制备路径。

关键字 生物质、逆羟醛缩合、乙醇酸

分类：主题 C 纤维素的高效绿色转化

168

**葡萄糖异构制备果糖的催化体系设计和机制研究**

候其东

南开大学

葡萄糖异构是生物质高值转化的关键环节，但是工业上应用的异构酶成本较高，非均相路易斯酸和碱性催化剂面临反应温度高、效率低和稳定性差的问题。为突破上述瓶颈，设计开发碱金属和碱土金属掺杂的氮化碳作为新型固体碱催化剂。相比于原始氮化碳， Na/C3N4、 K/C3N4、 Mg/C3N4 和 Ca/C3N4 的催化活性都有大幅的提升，证明碱金属和碱土金属掺杂是调控氮化碳碱性进而提升其异构催化活性的通用方法。其中 Mg/C3N4 的催化活性最高，表观活化能最低。转化效率与目前最先进的催化剂活性相当，而 Mg 的用量远低于其他催化材料。设计合成了锶和钡掺杂的羟基磷灰石，采用 XRD、红外和 XPS 对所制备的材料进行了表征。催化实验结果表明，钡和锶掺杂的羟基磷灰石具有优异的催化活性，果糖产率达到了 35%。钡掺杂羟基磷灰石经过煅烧之后可以完全恢复催化活性，反应过程中金属离子的浸出很少，具有很好的稳定性和循环利用性，具有大规模应用的潜力。

关键字 葡萄糖；果糖；异构；固体碱

分类：主题 C 纤维素的高效绿色转化

184

**光催化纤维素重整制氢研究**

吴纯正、丁方杰、郭建忠

浙江农林大学

纤维素是自然界中分布最广、含量最多的一种生物质资源。研究表明，利用太阳能光催化技术可在常温常压条件下将纤维素重整转化成甲酸、乳酸等高附加值产物，同时生成清洁燃料氢气。其原理是用纤维素消除光催化剂表面的光生空穴，保留光生电子用于还原水产氢。

g-C3N4作为一种廉价、无毒、易制备的光催化剂，其光生电子-空穴分离效率低，纤维素重整产氢受到极大的限制。本研究设计了一种异质结构的Au-Pt双金属助催化剂，由~ 3 nm的Au颗粒及生长于其表面的~ 1 nm的Pt颗粒构成。在模拟太阳光（170 mW/cm2）照射下，光催化纤维素重整可实现1186 µmol/g/h的产氢速率，是Pt、Au单金属助催化剂的6倍以上。通过理论和实验研究，我们发现Au-Pt异质结构表现出显著的协同效应。相比单金属，它具有更优异的光电子捕获能力，且对H有更合适的吸附强度。本工作系统研究了双金属助催化剂的协同效应的产生和调控机制，为高性能纤维素重整制氢光催化剂的设计提供了一种新的思路。

关键字 光催化，纤维素重整，产氢，双金属，协同效应

分类：主题 C 纤维素的高效绿色转化

207

**低共熔溶剂对木质纤维素的纤维素酶促糖化机理研究**

霍丹、孙悦凯、王锦华、杨秋林、司传领

天津科技大学

第三代纤维素乙醇技术的开发可从根本上解决能源的不可再生性及由第二代乙醇带来的粮食危机。然而木质纤维素复杂且致密的物理化学结构制约了其高值化利用。低共熔溶剂（DES）被发现对于木质纤维素具有良好的选择性解离效果。本研究对比分析了中性（偏碱性）醇基和有机酸低共熔溶剂对木质纤维素的选择性解离及纤维素酶促糖化作用机制。结果表明：乳酸基DES具有更好的预处理效果，纤维素保留率、半纤维素和木质素去除率以及纤维素酶水解率可分别达到95.85%、89.28%、73.53%和92.39%。在反应过程中半纤维素具有最低的活化能，进一步阐明该DES溶剂体系对半纤维素具有良好的选择性降解作用；路易斯酸的加入可进一步促进非纤维素组分的解离以及纤维素酶水解效率的提高，且其对预处理效率的促进作用与金属价态呈正比关系。

关键字 纤维素乙醇，酶水解，低共熔溶剂，预处理

分类：主题 C 纤维素的高效绿色转化

228

**纤维素定向水解制备寡聚糖及产物分离**

刘启予

广东工业大学

寡聚糖是一种高附加值化学品，在促进植物生长、化妆品保湿、保持肠道健康等多个领域具有重要应用。通过催化纤维素糖苷键的可控断裂，有望选择性制得寡聚糖，拓宽纤维素的高值化转化路径。

熔盐水合物具有溶胀、溶解纤维素的功能，研究采用了LiBr熔盐水合物处理纤维素，在不添加催化剂的前提下，利用水合阳离子自身的弱酸性催化部分糖苷键的水解，将纤维素定向转化为了聚合度在4-11之间的寡聚糖，收率达到90.3%。相对于葡萄糖，链状寡聚糖可以与无定形碳之间形成更强力的吸附，可以通过无定形碳吸附实现产物分离[1]；此外，寡聚糖在熔盐和水中溶解度更小，也可以通过使用甲醇作为反溶剂沉降分离，分离效率达到90.4%[2]。

关键字 纤维素；寡聚葡萄糖；熔盐水合物；定向水解；分离；

分类：主题 C 纤维素的高效绿色转化

246

**生物质基平台化合物5-甲基糠醛的制备**

杨维冉、彭阳、王艳涛、许建旺

南昌大学

随着化石资源的枯竭和对环境问题的日益关注，开发利用可再生资源生产能源和化学品引起了人们越来越多的兴趣。生物质是一种丰富的可再生碳源，可作为化石资源的有益补充。将生物质转化为有机化学品和液体燃料已成为研究的热点。由于生物质结构的复杂性，一般先将生物质转化为平台化合物，然后再进一步转化为所需的高价值化学品，例如5-羟甲基糠醛、糠醛、乙酰丙酸等。

本文介绍了一种生物质基平台化合物5-甲基糠醛的制备方法。对比5-羟甲基糠醛，它的水溶性更低，稳定性更好，更有利于分离提纯和存储。5-甲基糠醛也可以经过一系列的催化转化合成各种高价值的化学品。我们课题组首先利用金属催化剂和氢碘酸的协同催化开发了一步把果糖转化为5-甲基糠醛的技术。随后我们进一步改进了催化体系，通过无金属碘盐催化实现了淀粉到5-甲基糠醛的选择性转化，其中碘自由基活化了氢气，完成了加氢脱氧的步骤。最后，由于催化转移加氢反应条件更温和、对设备要求较低，我们又进一步开发了碘离子催化的氢转移反应，实现了各种原生生物质到5-甲基糠醛的转化，具有重要的工业化应用价值。

关键字 生物质，5-甲基糠醛，碘催化，氢转移

分类：主题 C 纤维素的高效绿色转化

270

**木质纤维素低碳催化转化**

路芳

中国科学院大连化学物理研究所

天然气是三大基础化石能源之一，可作为发电、供热和运输的燃料，也可用于生产大宗化学品，主要由70-90%的甲烷和少量的C2-C4的低碳烃类组成。天然气燃烧效率高，碳排放及污染物排放低，是一种相对清洁的能源。在当前碳达峰，碳中和的国家战略背景下，发展以农林废弃物为原料转化天然气技术不仅能够缓解天然气供应紧缺，而且能够有效解决农业废弃物高效利用的三农问题。但是在生物质直接催化转化制备天然气的过程中需要消耗大量外加氢气，而且氢能是清洁的二次能源，燃烧热值高、燃烧产物是水，是未来构建低碳、清洁能源为主的多元能源供给系统的重要能源载体。因此，木质纤维素生物质在温和条件下催化转化制备天然气和氢气等能源具有重要的战略意义。

我们团队发展了一种高效的催化氢解策略，可以直接转化多种农林废弃物快速制备天然气。通过精准构建Ni2Al3合金催化活性中心，促进原生生物质大分子中C-O和C-C键的高效断裂，在温和条件下催化生物质高效转化制备天然气，其中天然气的碳收率可达93%，且符合管道天然气的组成。全生命周期和经济评估分析表明，生物质天然气与化石天然气相比，碳排放降低了30%左右，且通过初始氢压的优化，充入常压氢气条件下碳排放仅为40 bar氢压下的10%左右，并且天然气的成本价格为3000-4000元/吨。另外，在此基础上，我们通过控制催化活性中心，可高效催化原料中C-H键、C-O键及C-C键的选择断键，实现氢气的可持续绿色获取。最终，以上开发的新技术路线可有效减少碳排放，具有一定的经济竞争性，将为木质纤维素资源转化利用提供新的社会经济可持续发展空间。

关键字 木质纤维素；低碳；天然气；氢气

分类：主题 C 纤维素的高效绿色转化

297

**稻草碱预处理黑液作为有机液体肥的效用评估**

许露瑶1,2、王闻1,2、亓伟1,2

1. 中国科学技术大学能源科学与技术学院

2. 中国科学院广州能源研究所

木质纤维素碱预处理能耗低，但产生大量的预处理黑液（BL），其成分复杂，处置困难，阻碍了碱预处理技术的产业化应用。为了消除BL带来的环境压力，本研究以稻草为原料，对其碱预处理BL作为有机液体肥的效用进行了评估。研究方法：以木质素脱除率为响应值，使用 Box-Behnken 模型对碱预处理条件进行优化。利用GC-MS等手段对调至中性的BL进行物化特性分析，探究了中性BL浓度对水稻秧苗发育的影响，比较了BL与等浓度氮磷钾自配肥（BF）对水稻秧苗发育以及土壤肥效的影响。结果：①最佳碱预处理条件为60min、80℃、液固比15:1、氢氧化钾尿素之比为1.43，此时木质素脱除率为70.76%。②BL中除了含有氮磷钾外，还含有49.6 g/L有机质，12.33 g/L腐殖酸，多种酚酸等。③3-9倍稀释的BL对水稻秧苗发育有明显促进作用，以5倍稀释的BL施肥效果最佳。④BL施肥的水稻干物质累积、分蘖、N、P、K吸收等稍逊于BF施肥的水稻，水稻土壤中的有机质含量、速效钾含量高于BF组，氮素肥效更长。结论：BL作为一种高效绿色的环境友好型有机液体肥有较好的应用潜力。

关键字 稻草，碱预处理，黑液，响应面，有机液体肥，水稻

分类：主题 C 纤维素的高效绿色转化

302

**低价值棉短绒的再生及应用**

吴娟

安徽省农业科学院棉花研究所

棉短绒是轧花过程中残留在棉籽表面的一种短绒，可通过皮棉剥皮机进行分离，所得产品可相当于皮棉总量的15 % - 20 %[1]。20世纪80年代，由于技术落后，棉籽通常被直接用于榨油和轧花，导致棉短绒的大量浪费。本研究以低价值的棉短绒（Y17）为原料，新型离子液体--低共熔溶剂（EDS：氯化胆碱和草酸组成）为溶解剂[2]，制备反应活性基团增加，利于后续改性的再生棉纤维素（Y17-DES）。分别以未经处理的Y17和经过DES溶解的Y17-DES 为基底原位负载Fe3O4颗粒，并进行重金属Cu2+的吸附实验。结果表明：经过预处理的吸附剂Fe3O4/Y17-DES（48.45 mg/g）对Cu2+的吸附效果要远高于未经过处理的吸附剂Fe3O4/Y17（11.00 mg/g）。通过SEM、FTIR、XRD等表征可知：未经过预处理的Y17亲水性能极差，始终漂浮在吸附剂溶液上，而Fe3O4颗粒则完全沉淀于瓶底，致使Fe3O4颗粒难以负载至Y17表面。相反，历经过DES预处理的Y17-DES中的无定形区域增加，纤维素分子间（内）的氢键作用被削弱，使得Y17-DES可以负载上更多的Fe3O4颗粒，故而Fe3O4/Y17-DES对Cu2+的吸附能力增加[3]。

关键字 棉短绒，低共熔溶剂，Fe3O4负载，Cu2+吸附

分类：主题 C 纤维素的高效绿色转化

307

**新型微纳米纤维素可用于纸基材料**

李柄醇、程一休、田卫国、张军

中国科学院化学研究所

纳米纤维素已经被证实可以用于纸张增强，提高填料留着率，并且有利于纸张涂布等。近年来，纳米纤维素也逐渐走出实验室，开始生产推广。我们团队采用本实验室开发的以AmimCl为代表的离子液体体系对纤维素进行溶解再生，最后制备了具有微纳二级结构的微纳米纤维素，制备方法绿色、环保、节能、高效，离子液体理论回收率接近100%，微纳米纤维素产率接近100%。

由本实验室自制的微纳米纤维素初步被证实可用于纸张增强，并且在填料助留等方面也有效果。希望通过本实验室的努力，可以解决目前国内造纸行业和纳米纤维素制备方面的瓶颈，促进绿色、低碳、循环发展。

关键字 纳米纤维素 纸张增强

分类：主题 C 纤维素的高效绿色转化

311

**生物质的转化与应用**

朱锦、那海宁、陈景

中科院宁波材料技术与工程研究所

生物质（biomass）是指通过光合作用而形成的各种有机体，包括所有的动植物和微生物广义讲，生物质包括所有的植物、微生物以及以植物、微生物为食物的动物及其生产的废弃物。有代表性的生物质如农作物、农作物废弃物、木材、木材废弃物和动物粪便。生物质是世界上最为丰富的可再生资源。如何利用好这些资源是实现可持续性发展的保障。生物基高分子是一类以生物可再生资源为原材料经过生物或化学过程合成的高分子。以生物基高分子为基体树脂而获得的塑料、橡胶、纤维、粘合剂和涂料统称为生物基高分子材料。生物基高分子材料避开石化资源的依赖性，具有低碳环保的优势，是一类具有可替代石化高分子材料的潜力，然而目前生物基高分子材料的使用量还不足高分子材料的1%。因此，生物基高分子材料是高分子领域未来发展的重要方向之一，而非粮生物基高分子材料将会是重中之重。本报告将综述宁波材料所在生物质的转化与应用放的研究进展。这包括纤维素高效转化为葡萄糖、木质素转化为用于聚氨酯多元醇、秸秆禾塑复合材料等。

关键字 纤维素、木质素、禾塑复合材料

分类：主题 C 纤维素的高效绿色转化

317

**使用聚N -乙烯基己内酰胺提高苯磺酸预处理竹基质的**

**酶解效率**

吕贤清、杨光绪、帅李、罗小林

福建农林大学

化学预处理后再进行酶解被认为是生产可发酵糖的有效途径。苯磺酸 (PSA) 预处理能有效分离竹子中的非纤维素成分（半纤维素和木质素），提高竹基质的可及度至未处理竹基质的 10 倍。然而，竹基质表面的木质素沉积会引起酶的非生产性吸附，从而显著降低 PSA 预处理竹基质的酶水解效率。本研究以非离子表面活性剂聚N-乙烯基己内酰胺 (PNVCL) 作为一种新型添加剂，避免木质素在酶解过程中的非生产性吸附。PNVCL 不仅比常用的木质素磺酸盐和聚乙烯醇能更有效地克服木质素的不利影响，而且其效果可以与 Tween 20 和牛血清白蛋白等添加剂相媲美。在 PSA 预处理竹基质酶解过程中，添加 1.2 g/L 的 PNVCL 可使纤维素酶转化率达到 80%，同时纤维素酶的添加量比未添加 PNVCL 时减少 3 倍。机理研究表明，PNVCL 可以通过疏水相互作用屏蔽木质素，并通过静电斥力和/或水合作用抑制纤维素酶的吸附。这种方法可以提高木质纤维素的酶解效率，从而提高生物质精炼的产率和收益。

关键字 木质素，非生产性吸附，酶解，聚N-乙烯基己内酰胺，苯磺酸

分类：主题 C 纤维素的高效绿色转化

329

**秸秆的微纳米化转化与利用**

吴敏、黄勇、黄大勇、王超、陈茜、刘金凤、王洪坤

中国科学院理化技术研究所

我国是传统的农业生产大国，据国家发展改革委、农业农村部资料显示，国内每年农作物秸秆理论资源量超过 10亿吨，其中可收集资源量达到 9 亿吨，是世界第一秸秆产量大国，约占全球秸秆资源总量的五分之一。农作物秸秆的主要化学成分为纤维素、半纤维素和木质素，三组分通过酯键、醚键等共价键以及氢键、范德华力等分子间作用力键合成复杂的超分子结构[1]。 通常人们在对木质纤维材料进行纳米化加工、利用时，首先要破坏各组分之间的共价键，对各组分进行分离，其次还要克服纤维素由于氢键网络、范德华力等所造成的内聚能。单一的物理、化学、生物方法制备木质纳米纤维素的方法仍面临着许多挑战：复杂的净化和预处理过程、大量的化学试剂和能量消耗以及环境问题，限制了它们的大规模应用。本工作将针对本课题组在秸秆的微纳米化转化与利用过程中所面临的一些技术性挑战与思考，与大家进行分享与讨论[2-3]。

参考文献：

[1] Edward M. Rubin\*. Nature, 2008，454：841.

[2] Dayong Huang，Min Wu\*，Chao Wang，Shigenori Kuga and Yong Huang\*. ACS Sustainable Chemistry & Engineering，2020，8(30): 11389.

[3] Yunxiu Zhang, Tongling Zhang, Shigenori Kuga, Min Wu\*, and Yong Huang\*. ACS Sustainable Chemistry & Engineering , 2020, 8(25): 9277-9290.

关键字 秸秆；微纳米化；秸秆利用

分类：主题 C 纤维素的高效绿色转化

335

**木质纤维素催化制备5-乙氧甲基糠醛过程及机理**

郭海心、单建荣

农业农村部环境保护科研监测所

 5-乙氧基甲基糠醛（5-EMF）一种高能量密度的极具潜力的燃料替代品和燃料添加剂，它可由碳水化合物在乙醇体系中经酸催化直接转化制得。将木质纤维素基碳水化合物转化合成5-EMF有利于废弃生物质资源化利用 [1, 2]。本文结合试验研究和动力学计算研究了葡萄糖在Lewis酸和Brønsted酸双功能生物炭催化剂作用下转化制取5-EMF和乙酰丙酸乙酯（EL）的机理（Fig.1）。研究发现，Lewis酸和Brønsted酸双功能生物炭催化剂对葡萄糖一锅直接转化具有良好的催化作用，其混合产率为69 %（150 ℃，6 h）。反应动力学模拟发现，Lewis酸和Brønsted酸比例影响5-EMF和EL产率，高Lewis酸（93 mol/g）不利于5-EMF的形成，而高Brønsted酸的生物炭在高温（>170 ℃）和短反应时间（<10 min）增加了5-EMF选择性。此外，循环实验证实了生物炭催化剂的稳定性；添加助溶剂（乙酸乙酯或四氢呋喃）可抑制5-EMF开环，但没有提供比单独乙醇更高的5-EMF产率，而二甲基亚砜抑制了5-羟甲基糠醛（HMF）醚化。本研究展示了一种从可再生资源合成增值液体燃料的绿色和可持续方法。

关键字 葡萄糖;5-乙氧基甲基糠醛; 催化转化; 木质素基功能催化剂

分类：主题 C 纤维素的高效绿色转化

343

**水-四氢呋喃共溶剂中一锅催化纤维素转化为2,5-己二酮**

石宁1、朱天浪1、刘莹1、舒日洋2、廖玉河3

1. 贵州理工学院

2. 广东工业大学

3. 广州能源研究所

纤维素催化转化为新型平台分子2,5-己二酮(HXD)是生物质资源高价值利用的一种可行途径。本文报道了一种以Al2(SO4)3和Pd/C为催化剂，在水和四氢呋喃(THF)组成的溶剂中，一锅催化纤维素转化成HXD的高效方法，收率高达80.3%。在催化反应体系中，Al2(SO4)3可以催化纤维素转化为5-羟甲基糠醛(HMF)， Pd/C与Al2(SO4)3结合可以催化HMF氢解生成5-甲基糠醇(5-MFA)和2,5-二甲基呋喃(DMF)等呋喃中间体，而不会引起这些呋喃中间体的过度加氢。这些呋喃中间体最终在Al2(SO4)3催化下转化为HXD。此外，H2O/THF比对呋喃中间体水解开环反应活性有显著影响。该催化体系在其他碳水化合物(葡萄糖和蔗糖)转化为HXD方面同样表现出优异的性能。

关键字 纤维素， 催化转化，2,5-己二酮，四氢呋喃

分类：主题 C 纤维素的高效绿色转化

355

**纤维素在超临界甲醇中转化低碳醇的研究**

杨和平

新疆大学

本研究采用Cu20MgAlOx为催化剂，研究了纤维素在超临界甲醇中制备低碳醇的反应过程和机理。通过高压反应釜，将纤维素和甲醇在160-320 ℃的温度下反应0.5-6 h，考察了催化剂中各金属元素对纤维素转化的影响，并对反应产物进行了收集和分析。实验结果表明，提高温度、延长反应时间和加入Cu20MgAlOx催化剂均能有效地提高纤维素的转化率和醇类产物的选择性。其中，纤维素在320 ℃、1 h的条件下实现了100%的转化，并且在6 h时醇产率达到了114.1%（部分是由于甲醇的聚合）。进一步研究发现，Cu20MgAlOx中的铜促进了糖转化醇，铜和镁协同提供酸碱活性位点，而过高的铜负载会导致催化剂结构的塌陷，影响纤维素的转化。此外，我们还建立了不同时间和温度转化率的动力学模型，对纤维素的转化过程具有一定的指导意义。Cu20MgAlOx催化剂能够促进纤维素的开环和水解反应，使糖分解生成醇。这为生物质资源的高效利用提供了一种新的途径，通过优化催化剂结构和反应条件，可以制备出具有高附加值和广泛应用前景的低碳醇。

关键字 纤维素转化，超临界甲醇，Cu20MgAlOx，低碳醇

分类：主题 C 纤维素的高效绿色转化

368

**木质纤维素可发酵糖吸附载体固态发酵2,3-丁二醇的研究**

姚长洪、王岚、陈洪章

中国科学院过程工程研究所

木质纤维素可发酵糖高效转化生物基化学品受到了广泛关注。本研究提出了聚氨酯吸附载体固态发酵新体系，用于木质纤维素可发酵糖制备2,3-丁二醇。以玉米秸秆酶解液为底物的吸附载体固态发酵过程中2,3-丁二醇转化率达到0.43 g/g，其产率为0.70 g/h/L，较液态发酵提高了1.82倍。以木糖渣酶解液为底物时2,3-丁二醇转化率达到0.37 g/g，其产率为2.77 g/h/L，较液态发酵提高了3.84倍。说明吸附载体固态发酵降低了抑制物对发酵产率的影响，提高了木质纤维素可发酵糖的利用效率。通过对比底物碳源流向和NAD+/NADH发现，吸附载体固态发酵过程中氧气传递效率显著提高，这促进了氧化磷酸化。用于菌体生长的底物碳源增加了9.61倍，菌体得到的能量增多，降低了抑制物对菌体生长的抑制。本研究为木质纤维素的高效转化提供了新方法。

关键字 木质纤维素可发酵糖，吸附载体固态发酵，2,3-丁二醇，聚氨酯

分类：主题 C 纤维素的高效绿色转化

380

**纤维素功能材料的定向构筑及应用**

司传领、刘坤、张萌、王娅萱、徐婷

天津科技大学轻工科学与工程学院，天津 300457

       纤维素纳米纤维（CNF）由于其绿色环保特性性、大长径比以及丰富的含氧官能团，而作为功能材料的组分越来越受到关注。本章以天然木材的层次化管胞状结构为灵感，采用双定向冷冻的方法制备了具有工程仿生结构的多功能纤维素纳米纤维/碳纳米管/MXene（CNF/CNT/MXene）气凝胶，展示出优异的机械强度和高导电性。首先，CNF与MXene之间的静电斥力可避免MXene纳米片的叠置；其次，缠绕的CNF与CNT作为“砂浆”与管胞结构的MXene“砖块”结合可产生良好的界面相互作用；再者，有序的工程结构可有效实现电子传输和应力传递。所构建的CNF/CNT/MXene气凝胶作为压力传感器，具有优异的传感性能（线性灵敏度高达817.3 kPa-1），在人体生物信号采集方面具有广泛的应用前景。气凝胶还可以作为压缩固态超级电容器的电极材料，具有较高的电化学性能和优异的长周期压缩性能。此CNF/CNT/MXene复合气凝胶有望为可穿戴电子设备、电子皮肤和人体运动监测等设备提供新型的多功能平台。

关键字 纤维素，纳米纤维素，定向，气凝胶

分类：主题 C 纤维素的高效绿色转化

387

**低共熔溶剂制备纤维素微球的研究**

邓小楠

安徽省农业科学院棉花研究所

纤维素是地球上数量最丰富、最廉价得亲水性高聚物，用它制成的聚合物具有良好的亲水性、高机械强度、生物相容性和可修饰性，而且其绿色、可再生、易降解，被认为是未来最有可能替代石油的绿色生物资源[1-2]。前期学者们研发的纤维素基功能材料如再生纤维素纤维、纤维素微球、纤维素膜、纤维素海绵等是利用纤维素资源的重要和有效途径之一，其中纤维素微球具有比表面积大、水力学性好和吸附能力强等特点[3]。传统的纤维素溶解体系包括有铜氨法、粘胶法及乙酸法等，但是这些方法存在污染重、原料价格高等问题[4]。低共熔溶剂是近年兴起的一种绿色溶剂，具有良好的生物降解性、无毒无害、容易制备和成本低廉等优点。因此，本研究以低共熔溶剂体系制备纤维素微球，生产过程无毒无害，具有良好的应用前景。本研究以一定摩尔比的氯化胆碱和草酸制备低共熔溶剂，溶解1g废弃棉纤维，制备纤维素溶液。将9 gSpan80和300 ml的液体石蜡搅拌均匀得到有机相溶液，随后将制备的纤维素溶液缓慢滴加到有机相溶液中以制备纤维素微球，对纤维素微球进行FTIR、SEM等表征。

关键字 低共熔溶剂 棉纤维素 微球

分类：主题 C 纤维素的高效绿色转化

394

**金属-酸耦合催化纤维素及其衍生物制备醇烃燃料**

陈伦刚1、刘勇2、张兴华1、刘建国1、张琦1、马隆龙1

1. 东南大学

2. 南昌大学

纤维素是木质纤维素生物质中最主要的组分，在金属-酸耦合催化下，纤维素及其衍生物可以通过C-C键、C-O键选择性断裂制备C6以下的烃、醇、醚类等化合物；也可以通过衍生物的C-C键耦合及脱氧制备C8以上的长链烷烃。

本研究通过Ru、Ni等金属和无机酸、固体酸制备或构建不同类型的金属-酸催化反应体系，利用金属加氢或氢解活性及酸催化活性调控纤维素及其衍生物乙酰丙酸的C-C/C-O键选择性断裂，实现了纤维素高效制备C5/C6烷烃、乙醇 [1, 2]，乙酰丙酸高效选择性脱氧制备2-丁醇和2-甲基四氢呋喃（2-MTHF）[3, 4]，糠醛和乙酰丙酸羟醛缩合及加氢脱氧制备生物航油 [5, 6]，进行了工艺放大研究，其反应途径和实验结果如Figure 1所示。明晰了纤维素及其衍生物C-C/C-O键选择性断裂与催化剂的构效关系，为生物质催化转化制备高品质液体燃料和高值化学品的催化过程和工艺开发提供了基础。

关键字 纤维素，乙醇，烷烃，耦合催化，金属-酸

分类：主题 C 纤维素的高效绿色转化

407

**纤维素生物航油技术进展**

马隆龙、张兴华、陈伦刚、张琦、刘建国

东南大学

实现碳达峰、碳中和的“双碳”战略目标已经上升为国家战略。航空业是碳减排的难点行业，主要原因是长途飞行仍需要消耗化石燃料的喷气式发动机，短期内无法实现绿电、绿氢等可持续能源的替代。可持续航空燃料（SAF）与普通化石航油相比，可以减少多达85%的碳排放，是航空领域大幅度削减碳排放的首选方案。

生物航油是一类最重要的可持续航空燃料，近年来发展迅速。本文重点介绍作者团队自主开发的生物质水相催化合成航空燃料技术。该技术以高粱秆、玉米秸秆等木质纤维素类生物质为原料，通过汽提-水热解聚技术实现了原料中纤维素和半纤维素组分定向转化为糠醛和乙酰丙酸等含氧平台化合物，再进行羟醛缩合反应实现产品碳链重构，得到固态长链含氧化合物（C8-C15正/异构碳链）。长链含氧化合物在研制的非贵金属催化剂进行加氢炼制，通过加氢、加氢脱氧、催化裂化、碳链异构、环化成环等多反应集成，得到航油产品。该技术拓展了量大价廉的农林废弃物高值化利用方式，为规模化削减航空业CO2提供了新的候选方案。

关键字 纤维素生物质，生物航油，水热解聚，加氢脱氧

分类：主题 C 纤维素的高效绿色转化

409

**生物质催化制低碳二元醇及在聚酯中的应用**

郑明远、张涛

中科院大连化学物理研究所

生物质资源具有可再生的低碳属性，可替代传统化石能源制备大宗化学品小分子二元醇等，对于实现“碳达峰”、“碳中和”的战略目标具有积极意义。本报告总结了张涛院士科研团队近年来在生物质催化合成乙二醇、丙二醇技术路线上取得的研究进展，内容包括：反应高选择性的钨基催化剂发现与演变、催化反应机制、反应动力学、选择性调控、全生物催化转化、生物质乙二醇产物分离、PET聚酯合成等方面。研究发现，在众多催化剂中，过渡金属钨基催化剂对于碳水化合物选择性断键生成C2或C3产物具有独特的高选择性；催化C-C断键的反应活化能明显高于其他催化反应步骤，决定了该反应的特征反应温度范围；复杂反应网络中，关键反应步骤的反应级数不同，是选择反应器类型的根本依据；全组分木质纤维素中，木质素对反应具有显著抑制作用，可通过物理或化学的方法进行分离，即可得到高收率乙二醇；生物质催化转化制乙二醇的产物成分复杂，近沸点的二元醇可通过反应精馏的工艺进行节能分离；生物质乙二醇产品的纯度>98%以上时，可用于PET、PEF聚酯合成。报告还将介绍科研团队负责完成的国际首套千吨级秸秆糖制乙二醇中试建设与运行等工作进展，并对生物质催化制乙二醇等低碳化学品的技术工业化过程中存在的问题与机遇进行了展望。

参考文献：

[1] Ji, N.; Zhang, T.; Zheng, M.; et al., Angew. Chem. Int. Edit, 2008, 47: 8510-8513. .

[2] Wang, A.; Zhang, T. Acc. Chem. Res., 2013, 46: 1377-1386.

[3] Zheng, M.; Pang, J.; Zhang, T.; et al., ACS Catal., 2017, 7: 1939-1954.

关键字 生物质；纤维素；催化；乙二醇；丙二醇；聚酯

分类：主题 C 纤维素的高效绿色转化

410

**竹子纤维素转化制备生物乙醇和乳酸研究**

李志强

国际竹藤中心

竹子是仅次于木材的最重要的可再生森林资源，且生长速度快、不受采伐政策限制，目前竹材加工利用产业中竹材利用率偏低，竹材加工剩余物量巨大。因此，要充分发挥我国竹资源优势，拓展竹材的应用领域，提高竹材加工剩余物及小径竹丛生竹的利用价值和产品附加值，竹材生物质液体燃料和化学品研究是潜力巨大、前景广阔的研究方向之一。因此未来将一方面着重针对竹材自身材性特点，研发热化学转化、催化转化和生物转化等一系列的实用技术，形成完整的竹材转为液体燃料和化学品技术体系，另一方面积极致力于将成熟的竹加工剩余物利用技术和小径竹丛生竹就地粗加工技术应用于广大竹加工企业和竹产区，推动竹材及其相关产业的发展，为我国绿色林业产业的可持续发展贡献一份力量。

竹材具有硬度大，较其他生物质原料其纤维素更加难于预处理转化利用，目前可使预处理后竹材纤维素酶解葡萄糖收率达到90%以上，而未经预处理的竹材纤维素酶解率只有2%。竹子纤维素经酶水解和发酵过程，可成功制得生物乙醇和乳酸，这两个化合物是重要的化工原料和平台化合物。根据竹子各化学组分特性和市场需求，进行差别化的高值转化利用，是竹材采伐和加工剩余物以及小径竹丛生竹全组分高值化化学利用的有效途径。

关键字 竹，纤维素，转化，乙醇，乳酸

分类：主题 C 纤维素的高效绿色转化

439

**蒸汽爆破耦合高温短时灭菌促进纤维素生物质高固发酵**

赵志敏1,2,3、李崇磊2、刘志华1、Arthur J. Ragauskas3、李炳志1

1. 天津大学

2. 内蒙古大学

3. Oak Ridge National Laboratory

蒸汽爆破（Steam explosion）是木质纤维素前处理的重要方法，同时也是一种新型的高温短时灭菌方法。为了提升生物质发酵效率，制备高效价的枯草芽孢杆菌微生态制剂，利用低场核磁和RT-PCR等技术，探究了蒸汽爆破耦合高温短时灭菌（SE-HTST）对纤维素生物质理化特性及其高固发酵的影响和机制。结果表明，SE-HTST扩大发酵基质孔和腔的体积，为微生物生长提供有效空间；促进纤维素降解为葡萄糖，易于被微生物代谢利用。此外，SE-HTST促进芽孢形成关键调控基因spo0A，sigF和sigE表达。生物量分析表明，SE-HTST使枯草芽孢杆菌活细胞和芽孢数较常规灭菌（CTS）分别提高1.8和1.6倍。综上，SE-HTST处理基质可为微生物代谢生长提供更有效的空间、是促进高固发酵纤维素降解释放葡萄糖、诱导芽孢形成关键基因表达的有效方法，可大幅提升枯草芽孢杆菌微生态制剂效价，促进纤维素生物质高值化利用。

关键字 纤维素，生物质，枯草芽孢杆菌，微生态制剂，蒸汽爆破，芽孢形成

分类：主题 C 纤维素的高效绿色转化

441

**秸秆纤维素纤维的制备及其性能研究**

唐琪、杜明娟、李召岭

东华大学

为响应国家“双碳”政策且随着耕地面积的减少和石油资源的日益枯竭，人们对再生纤维素纤维的价值进行了重新认识和发掘。我国作为农业大国，每年秸秆产量近9亿吨，将秸秆纤维素作为再生纤维素纤维原料具有极高的经济和生态效益。本研究利用低共熔溶剂（DES）采用“逐级分步”的处理策略，实现秸秆生物质全组分的绿色高效分离。在此基础上，选用NMMO水溶液体系溶解秸秆纤维素制备均一稳定、透明粘稠的纺丝原液，并采用干喷-湿法成纤工艺进行纺丝，探究了喷丝速度、气隙长度、凝固浴、牵伸率等参数对秸秆纤维素纤维结晶度、取向度的影响规律，结合COMSOL仿真软件理论分析纤维牵伸成型过程中，纤维素集束受到定向外力作用重新有序排列的过程，获得性能优异的再生纤维素纤维，其纤维强度为4.23 cN/dtex，初始模量为45 cN/dtex。本研究不仅可以实现了秸秆生物质的高值化利用，还将提升我国再生纤维素纤维产业的全球竞争力，具有可观的经济前景和显著的国家战略意义。

关键字 秸秆；纤维素；低共熔溶剂；NMMO水溶液；再生纤维素纤维

分类：主题 C 纤维素的高效绿色转化

454

**绿色、可降解的竹源纤维素薄膜的连续化制备及工艺优化**

吴平平

赣南师范大学

本文以氢氧化锂/尿素溶剂制备竹纤维素溶液，采用自主研制的装置制备了各向异性
的再生竹纤维素水凝胶和膜材。通过优化一级凝固浴组成和二级热水浴的牵伸比，对各
向异性水凝胶和膜材的性能进行了工艺优化。结果表明，温和的再生条件减缓了纤维素
与溶剂之间的交换速率，有利于构建致密的纳米纤维网络。随着牵伸比的增大，水凝胶
和膜材牵伸方向的抗拉强度增加。当牵伸比达 1.3 时，水凝胶的强度提升至 2.51 MPa，
是相同条件下流延法的 1.33 倍，其断裂伸长率由起始的 56.4%降低至 35.9%；膜材的强
度提升至 124 MPa，是相同条件下流延法的 1.38 倍，其断裂伸长率由起始的 56.4%降低
至 35.9%。水凝胶的横向方向的抗拉强度呈相反的规律，当牵伸比达 1.3 时，其强度降
低至 1.83 MPa，而其断裂伸长率由起始的 78%增加至 93%。膜材的强度降低至 94 MPa，
而其断裂伸长率由起始的 2.6%增加至 6.5%。纤维素溶液在膜头挤出时所受的剪切力使
其分子链产生一定的取向，并且凝固成型过程进一步取向，因此有利于形成取向度高、
结构致密的各向异性再生纤维素材料。本文为高效制备高强度各向异性纤维素材料提供
了一种绿色、环保且简单易行的方法。

关键字 纤维素、薄膜、碱脲体系、水凝胶、连续化

分类：主题 C 纤维素的高效绿色转化

468

**多功能纳米纤维素MXene复合材料研究**

马明国

北京林业大学

纳米纤维素包括纤维素纳米晶、纤维素纳米纤维以及细菌纳米纤维素等，是一种典型的1D有机纳米材料。纳米纤维素来源广泛，具有力学性能好，生物相容性好以及生物可降解等优点。近年来，纳米纤维素已经成为生物质研究领域的研究热点。MXene是由过渡金属碳化物、氮化物或碳氮化物组成的一类新型2D材料。MXenes的分子式为Mn+1XnTx（n=1、2、3或4），其中M是过渡金属，如Ti、Sc、Cr、V等，X表示碳或氮，T表示表面官能团（如-F、-O和-OH）。MXene主要通过去除MAX相的A层来合成，其中A来自IIIA或IVA元素。MXene因其高电导率、大孔隙率、强亲水性、大比表面积和丰富的表面官能团而受到青睐。MXene的多功能结构和化学性质赋予其有趣的电化学、磁性和电性质，在储能材料、传感器和电磁屏蔽等领域具有潜在应用前景。然而，MXene也具有诸如易堆积和在氧气环境中稳定性差等缺点，极大地限制了MXene的发展和应用。1D纳米纤维素与2D MXene结合形成复合材料，极大的弥补了MXene力学性能不足的问题，有利于纳米纤维素功能化、资源化、多元化利用。

多功能柔性可穿戴智能纤维织物课题组长期从事多功能纳米纤维素/MXene复合材料研究，以织物、生物质、天然高分子为原料，通过静电纺丝、3D打印、浸提等方法，制备多功能纳米纤维素/MXene复合材料，应用于健康管理、医疗保健、运动指导、智能家居等领域，进行光、热、电、磁、声等能量管理，使复合材料具有自适应、自感知、自修复、自诊断等功能。多功能柔性可穿戴智能纤维织物课题组基于纳米纤维素和MXene开展了系列研究，在ACS Nano, Advanced Functional Materials, Materials Horizons, Nano-Micro Letters, ACS Applied Materials & Interfaces, Chemical Engineering Journal等国际著名期刊发表高档次论文20多篇。利用真空抽滤的方法制备了纳米纤维素/MXene电磁屏蔽复合材料，该复合材料具有层状结构，较高的力学性能，较好的电磁屏蔽性能，拓展了纳米纤维素新的应用途径，在柔性可穿戴设备、机器人关节和武器设备等领域具有潜在应用前景，相关研究结果发表在ACS Nano上。制备出超薄透明具有Janus结构的纳米纤维素/MXene柔性可穿戴膜，该材料具有优异的传感性能、力学性能、超高的电磁屏蔽性能，相关研究结果发表在Chemical Engineering Journal上。系统总结了柔性可穿戴MXene复合材料在传感领域的研究进展和未来发展方向，提出了该领域亟待解决的八个方面问题，研究结果发表在Advanced Functional Materials上。多功能纳米纤维素/MXene复合材料系列研究拓展了纳米纤维素应用范围，有利于生物质高值化应用。

关键字 纳米纤维素；MXene；复合材料；1D；2D

分类：主题 C 纤维素的高效绿色转化

469

**纤维素基可逆粘附水凝胶**

刘鹤

中国林业科学研究院林产化学工业研究所

以摩擦纳米发电机（TENGs）作为能量来源组装的自供电电子皮肤（e-skins）具有高适形性和高便携性等优点，在柔性可穿戴领域具有应用潜力。传统TENGs的基质材料往往具有弱界面粘附性和低机械韧性等缺陷，严重限制了其实际应用。粘附导电水凝胶具有优异的机械柔韧性、离子导电性和界面粘附性，已被发展作为新兴的TENGs导电基质层，组装设计为e-skins应用于智能穿戴领域。然而，传统开发的粘附水凝胶基TENGs存在可重复使用性差和不可逆的粘附缺陷，因此，开发具有强且可逆粘附的水凝胶是提升TENGs基e-skins实际使用性能关键！

针对上述挑战，基于超分子化学设计策略，通过对水凝胶中特征键合作用（如配位相互作用和氢键作用）进行可控修饰来实现水凝胶基e-skins粘附性能的可逆调控。因此，基于e-skins在人体皮肤组织上的应用特性，设计开发了UV介导的可逆粘附水凝胶、人体汗液pH驱动的可控粘附水凝胶和皮肤温度触发的可逆粘附水凝胶。水凝胶的可控调控机理及性能如下：a）借助光芬顿反应机理利用UV介导Fe3+/Fe2+与−COO−间的可逆配位键合作用，实现水凝胶在皮肤上94%界面粘附性和83%机械韧性的可调性；b）利用人体汗液pH驱动水凝胶中氢键网络和质子化/脱质子化的可逆转变，使得水凝胶在皮肤上92%界面粘附性和80%机械韧性的可调性；c）基于皮肤温度触发共聚物分子间的氢键作用实现动态可逆的相转变特性，促使水凝胶在皮肤上96%界面粘附性和86%杨氏模量的可调性。构建具有动态可逆特性的粘附水凝胶，为智能高分子材料的设计开发提供了指导思路，同时也为水凝胶材料在柔性可穿戴设备和医疗健康系统等领域的实际应用提供了理论依据。

关键字 可逆粘附，超分子水凝胶，电子皮肤

分类：主题 C 纤维素的高效绿色转化

477

**非常规溶剂介导生物质转化**

赵宗保

中国科学院大连化学物理研究所

植物光合作用产生的生物质是最重要的可再生资源，主要以木质纤维素的形态存在。木质纤维素结构复杂，对常规处理方法具有天然抗性。我们将离子液体作为介质或辅助介质应用于生物质化学转化、组分分离和衍生化以及耦合产油酵母培养制备油脂，开展了比较系统的研究，为生物质利用提供了重要参考。鉴于5-羟甲基糠醛（HMF）是一种非常重要的生物基平台化合物，对离子液体辅助HMF制备进行了多方面探索。本报告将系统介绍团队在非常规溶剂介导生物质转化领域的的研究结果。

参考文献：

[1] Wang X, Xu Q, Cheng J, et al. Ind. Crop Prod. 2020, 145: 112137.

[2] Jin L, Yu X, Peng C, et al. Bioresour. Technol. 2018, 270: 537.

[3] Xie H, Yu X, Yang Y, et al. Green Chem. 2014, 16: 2422.

[4] Gong Z, Shen H, Yang X, et al. Biotechnol. Biofuels 2014, 7: 158.

[5] Xie H, Shen H, Gong Z, et al. Green Chem. 2012, 14: 1202.

[6] Li C, Zhao ZK, Cai H, et al. Biomass Bioenerg. 2011, 35: 2013.

[7] Li C, Wang Q, Zhao ZK. Green Chem. 2008, 10: 177.

关键字 非常规溶剂；生物质；生物转化；5-羟甲基糠醛

分类：主题 C 纤维素的高效绿色转化

483

**非均相催化转化制备生物柴油及生物基平台分子的研究**

杨松

贵州大学

围绕农林生物质资源化利用亟待解决的部分关键科学问题，近年来，我们开展了农林生物质聚合物或大分子的定向降解与高值化利用探究，以及生物质小分子高效、低成本转化工艺及机理研究。特别地，课题组发展了生物质降解/高值化利用新策略，研发出一系列含氮/氧功能分子和液体燃料；同时，揭示了生物质分子转化新路径，运用同位素标记/动力学实验、理论计算等深入开展了机理研究；此外，研发出系列绿色清洁新工艺（固相催化法生产生物柴油生产装置和生产线、生物质基含氮化合物合成的流动反应体系等），极大推进了产业化应用。总之，课题组围绕农林生物质多步级联转化过程发展了一系列协同催化转化策略，实现了生物质基高附加值产品的高效定向合成。

关键字 生物质；生物燃料；催化机理；转化路径；绿色化学

分类：主题 C 纤维素的高效绿色转化

487

**聚合物接枝改性纤维素纳米晶及其水塑加工探究**

刘云霄、周立娟、张建明

青岛科技大学

纤维素纳米晶（CNC）是从天然纤维素中提取出的一维纳米材料。近年来，聚合物接枝改性的CNC由于物化性质、功能易调控，受到了工业界和学术界的广泛关注[1]。水相自由基聚合接枝改性是一种简单高效的改性方式，但目前接枝的以石油基聚合物为主，破坏了CNC作为生物基纳米材料的优势。近期，通过CNC水相表面聚合关键技术的突破，我们实现了生物乙醇来源的聚醋酸乙烯酯（PVAc）在CNC表面的高效接枝。经PVAc接枝改性的CNC具有可视为一种新型可生物降解聚合物纳米复合材料或用于制备全生物降解高分子的增强填料[2-4]。

我们发现，在水的增塑作用下，CNC-PVAc可在80 °C以下的较低温度下通过模压、挤出等传统的热塑加工的设备成型。与目前常用的增塑剂相比，水作为增塑剂具有更绿色环保的特性，且在材料定型后可通过挥发而脱除，对最终材料的性能几乎没有影响。。由于加工温度较低，CNC-PVAc即使经过反复加工也不会降低其力学性能。因此，“水塑加工”是一种利于材料回收、循环利用的新加工方法。

关键字 纤维素纳米晶，聚合物接枝，水塑加工

分类：主题 C 纤维素的高效绿色转化

498

**人造岗石废渣辅助剥离纤维素纳米纤维**

周博，张新星\*

高分子材料工程国家重点实验室，四川大学高分子研究所， 610065

\* xxzwwh@scu.edu.cn

随着石油资源的日益枯竭和温室气体的过度排放， 生物质材料作为石油资源的替 代品进入了公众的视野。生物基材料具有来源广泛、可再生的优势，每用生物质材料替 代 1 吨石油基塑料，可节约 2.6 吨原油，减少 0.6 吨 CO2 排放。面向双碳目标的生物质 资源规模化利用， 如纤维素、淀粉等天然高分子材料替代现有石油基高分子， 是实现塑 料污染治理、减少石油来源碳排放的重要手段。但纤维素多羟基、强氢键结构导致其难 以纳米化剥离以实现高值化利用。 本文面向纤维素的高效绿色转化开展研究， 利用表面 具有活性基团的人造岗石废渣设计界面氢键相互作用辅助剥离纤维素纳米纤维， 研究体 系界面氢键解离重构机制， 探索了界面氢键对于纤维素纳米纤维剥离的影响以及纤维素 纳米纤维在高分子材料及无机材料填料中的高值利用[1]，为推动生物质材料的绿色纳米 化制造与高值化利用提供了理论支撑。

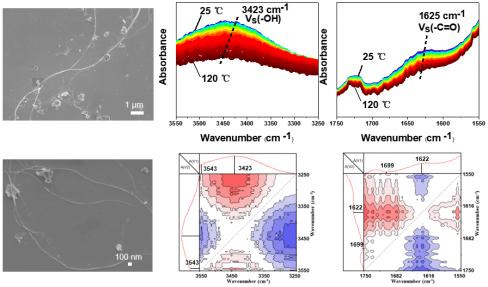


Figure 1. 人造岗石废渣辅助剥离纤维素纳米纤维与其氢键相互作用表征

参考文献：

1. Zhou, P.; Luo, Y.; Lv, Z.; Sun, X.; Tian, Y.; Zhang, X. *International* *Journal* *ofBiological* *Macromolecules* 2021, *183*, 1903.

关键词：纤维素纳米纤维；氢键相互作用；生物基材料

分类：主题 C 纤维素的高效绿色转化

502

**氧化铝载磺化碳选择性催化葡萄糖制取 5-羟甲基糠醛**

张听伟，金永灿\*

南京林业大学轻工与食品学院，南京 210037

[\*](#_bookmark1)[jinyongcan@njfu.edu.cn](mailto:xxxx@email.com)

源于 C6 糖的 5-羟甲基糠醛 (HMF) 是重要的生物质基平台分子，在合成高附加值 化学品和燃料添加剂等方面具有重大的潜在应用价值[ 1] 。然而，以更具成本优势的葡萄 糖类原料通过酸催化制取 HMF 存在竞争性副反应多、HMF 产率低的瓶颈问题，导致 HMF 的规模化生产和应用尚未实现[2] 。精准构筑非均酸相催化剂并通过 Lewis-Brønsted 酸位点的配伍协同作用实现葡萄糖类原料的选择性异构化、脱水串联反应是改善 HMF 制备的必由之路。本研究设计、合成γ-Al2O3 载磺化碳催化剂(γ-Al2O3/C-PhSO3H)并在 DMSO-H2O 溶剂中实现了葡萄糖的高选择性转化 (图 1) 。γ-Al2O3 表面的配位不饱和 铝离子提供的 Lewis 酸性足以在 DMSO 中催化葡萄糖异构化为果糖中间体。但由于缺 乏 Brønsted 酸位点，γ-Al2O3 催化果糖中间体进一步转化为 HMF 表现较差。向γ-Al2O3 引入蔗糖基无定型碳并进一步接枝苯磺酸成功引入 Brønsted 酸性，且 Py-FTIR 结果表明 γ-Al2O3 自有的 Lewis 酸性在该过程中未受到不利影响。γ-Al2O3/C-PhSO3H 将 HMF 收率 由 42.5%提升至 62.3%,并且γ-Al2O3/C-PhSO3H 具有良好的循环稳定性。

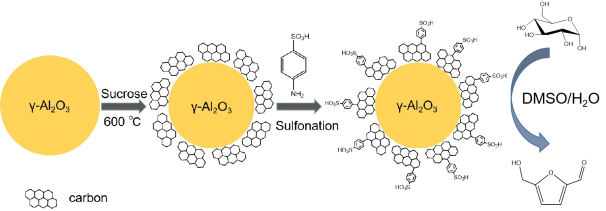


Figure1 Illustration of the synthesis of γ-Al2O3/C-PhSO3H

参考文献：

[ 1] R.J. van Putten, J.C. van der Waal, E. de Jong, C.B. Rasrendra, H.J. Heeres, J.G. de Vries, Hydroxymethylfurfural, a versatile platform chemical made from renewable resources, Chem. Rev., 2013,113,1499- 1597.

[2] L. Zhu, X. Fu, Y. Hu, C. Hu, Controlling the reaction networks for efficient conversion of glucose into 5‐hydroxymethylfurfural, ChemSusChem, 2020,13( 18), 4812-4832.

分类：主题 C 纤维素的高效绿色转化

505

**纤维素基结构与功能材料的制备及应用研究**

陆赵情

陕西科技大学

生物质资源是地球上最丰富，也是人类最宝贵的可再生、绿色资源，对纤维素基材料的高值化利用是解决未来资源枯竭问题的关键。本报告围绕团队在纤维素基材料在过滤与分离、薄膜结构增强增韧以及柔性可穿戴等领域材料的制备及应用展开研究，先后在蛛网状纤维素气凝胶空气过滤材料、沸石咪唑骨架（ZIF-8）纳米晶体修饰的吸附型纤维素基空气过滤材料、醋酸纤维素（CA）基油水分离膜材料、仿蛛网型醋酸纤维素/细菌纤维素(CA/BC)复合油水分离膜、硼砂/聚乙烯醇(PVA)增强增韧TOCN膜、金属离子/多巴胺体系增强增韧TOCN膜、芳纶纳米纤维嵌入式网络强化羟乙基纤维素薄膜以及三明治结构HB和EG/AgNWs复合传感薄膜等方面做的探索工作展开，介绍了相关研究构建的纤维素基结构与功能材料的制备技术，为高附加值生物质材料开发及前沿性领域应用提供借鉴。

关键字 纤维素；制备；功能与结构；应用研究

分类：主题 C 纤维素的高效绿色转化

526

**低共熔溶剂应用于苎麻纤维素纤维的提取**

李召岭

东华大学

随着环保理念的深入人心，“碳达峰、碳中和”已成为国家战略和未来的发展方向，如何实现苎麻的高效环保脱胶及纤维素纤维的稳定制备成为可持续化发展的重点。与传统方法相比，低共熔溶剂具有环境友好、效率高、流程短等优点，具有重要的经济和社会效益。本研究利用低共熔溶剂对苎麻中的胶质进行选择溶解性，通过选择合适的溶剂体系，在工艺优化的基础上实现一步脱胶，制备得到性能优异的苎麻纤维素纤维。此外，进一步利用“水沉-醇析法”分离出脱胶废液中的木质素和半纤维素等高附加值产物，避免其作为脱胶黑液直接排放，降低了污染同时实现了资源的综合利用。最后，在低共熔溶剂中添加纤维素保护试剂蒽醌来提高纤维素纤维的物理机械性能。本研究为天然麻纤维的高效环保脱胶及纤维素纤维的有效提取拓宽了思路，有利于促进苎麻产业的可持续发展。

李召岭，东华大学纺织学院研究员、博士生导师，国家“万人计划”青年拔尖人才，现任中国电子学会智能人机交互专家委员会委员，国家先进印染技术创新中心特聘专家，Adv. Fiber Mater.、Nano Res.、纺织学报、纺织高校基础科学学报等期刊青年编委。研究方向为纤维素纤维的制备及其在粘胶织物、水刺无纺布、吸湿凉爽面料等领域的应用；智能纤维的制备及其在发电织物、传感织物、电子皮肤等领域的应用。迄今已在Angew. Chem. Int. Ed.、Adv. Mater.、Adv. Funct. Mater.、Nano Energy等期刊发表SCI论文70余篇（其中IF>10的40篇、ESI高被引6篇），研究成果已被引用6300余次，H指数38；参编英文书籍2部，授权中国发明专利21项；主持国家自然科学基金（3项）、上海市自然科学基金（2项）、上海市青年科技启明星、上海市人才发展基金、江苏新视界先进功能纤维有限公司、无锡小天鹅电器有限公司、山东中康国创先进印染有限公司等科研项目20余项。

分类：主题D 木质素分离、结构、改性及其应用

15

**低共熔溶剂分级木质纤维素制备生物降解地膜和**

**纳米农药**

田东、张靖、沈如倩、沈飞

四川农业大学

木质纤维素组成高度复杂，化学生物可及性低为其绿色加工及高值转化带来巨大挑战。前期研究表明，低共熔溶剂（DES）耦合水热预处理可以选择性分馏木质纤维素全组分[1]。结果表明，通过酸性低共熔溶剂预处理，木质素组分发生酸催化缩合反应使其疏水性能增强，可作为核壳结构致密、粒径均一的木质素纳米球（LNSs）制备的前驱体。纤维素组分同时被DES溶剂体系有效溶胀，从而促进含木质素的纤维素纳米纤维（LCNFs）的制备（Figure 1）。LNSs和LCNFs作为高值化纳米材料平台被进一步加工成复合包装膜、生物降解地膜和纳米农药等产品[2,3]。本工作为木质纤维素的高效利用提供了技术参考。

关键字 低共熔溶剂；木质纤维素；木质素；纳米农药；可降解地膜

分类：主题D 木质素分离、结构、改性及其应用

38

**木质素基环保材料的制备及应用研究**

呼微、刘昱含、王品惠

东北师范大学

木质素是自然界中储量仅次于纤维素的天然高分子，是一种绿色环保、可再生、可降解的低成本材料。本研究首先以木质素磺酸盐为原料，通过分子结构设计合成了同时含有磺酸锂基团和三氟甲基磺酰亚胺锂基团的木质素锂盐（L-Li）。三氟甲基磺酰亚胺强吸电子基团不仅具有高的电化学稳定性，而且使锂离子易于解离。木质素磺酸锂中的磺酸基团与苯环形成共轭，促进负电荷离域，降低阴离子与锂离子的结合能，最终使L-Li含有丰富且易于解离的锂离子。[1] 将木质素锂盐（L-Li）与聚偏氟乙烯-六氟丙烯（PVDF-HFP）通过静电纺丝技术制备出具有高孔隙率、锂盐均匀有序分布的木质素基单离子聚合物电解质（L-Li/PVDF）。该电解质具有的高孔隙率三维网络结构，能促进增塑剂的浸润，提高吸液率，降低电池内部阻抗，使Li+传输更稳定高效。30 ℃时L-Li/PVDF电导率可达到2.12 mS cm-1。L-Li/PVDF中阴离子被固定在木质素骨架上，锂离子迁移数高达0.87，能有效地抑制锂枝晶生长。组装对称的Li//L-Li/PVDF//Li电池在0.05 mA cm-2条件下循环2000 h以上仍无明显锂枝晶的产生，在仅30 mV的极化电压下实现超稳定锂剥离/沉积循环。木质素锂盐（L-Li）可提供大量易离去的锂离子，Li//L-Li10/PVDF//LFP电池在0.2 C电流密度下初始放电比容量可达到157 mAh g-1，循环550圈后容量保持率仍可达到82.8%，且库伦效率始终接近100%。本研究为木质素的应用提供了一个高值化的研究方向，使木质素成为下一代高性能且高安全性绿色聚合物电解质的潜在材料。

关键字 木质素，阻燃，电解质

分类：主题D 木质素分离、结构、改性及其应用

41

**酸性DES改性碱木质素的结构表征及抗氧化性能评价**

黎孔燕1、李鹏辉1、吴文娟1,2

1. 南京林业大学轻工与食品学院

2. 南京林业大学江苏省森林资源高效加工利用协同创新中心

本文采用不同酸性的DES (氯化胆碱/对甲苯磺酸和氯化胆碱/乳酸)，在130℃下对碱木质素进行改性( TC -木质素和LC -木质素)。采用31P核磁共振、凝胶渗透色谱( GPC )和傅里叶变换红外光谱( FT-IR )对木质素进行表征，并检测其抗氧化活性。结果表明，经酸性低共熔溶剂改性的碱木质素具有相对较低的分子量和较高含量的酚羟基( TC-木质素, Ar- OH : 3.52 mmol / g , G-OH : 4.18 mmol / g , Mw : 3726 , Mn : 2053 , PDI : 1.81)。TC -木质素的抗氧化活性(自由基清除90.35%)略高于LC -木质素(自由基清除率89.12%)，且均高于市售抗氧化剂BHT (自由基清除率为88.79%)。同时，我们讨论了木质素模型物质（2-甲氧基-4-丙基苯酚）与DPPH反应的可能机制[1]。且由于特殊的酚羟基和苯基丙烷结构，LC -木质素具优异的紫外屏蔽能力[2]。本文提出了一种简单的方法对工业木质素进行改性，使其适合用作抗氧化剂和抗紫外线产品。

关键字 木质素；DES；抗氧化性；抗紫外线；

分类：主题D 木质素分离、结构、改性及其应用

49

**用于木质纤维素水解及其产物分离的液-液相变溶剂**

肖超、朱建伟、吴瑞琳、祖明富、茅佳华

贵州大学

预处理及组分分离技术可以实现木质纤维素结构解聚，以及纤维素、半纤维素和木质素分离，为木质纤维素全组分高值化利用奠定了基础[1]。本研究设计了一种液-液（稀硫酸-有机溶剂）相变溶剂，首先研究了温度对有机溶剂在稀硫酸中溶解度的影响规律，然后研究了木质纤维素在液-液相变溶剂中的水解及组分分离性能，并分析了水解产物质量平衡，最后分析了有机溶剂重复使用性能。研究结果表明该液-液相变溶剂具有“高温均相、低温分相”的特点；木质纤维素中的半纤维素和木质素在均相溶液中水解，反应体系冷却的过程中均相溶液出现液-液分离的现象；半纤维素和木质素水解产物随相分离分别转移至稀硫酸相和有机溶剂相，纤维素基本不发生水解存在于固相。此外有机溶剂具有优良的重复使用性能。本研究为木质纤维素水解及其产物分离技术发展奠定了理论基础，具有重要的理论和实际应用价值。

关键字 木质纤维素，水解，分离，液-液相变

分类：主题D 木质素分离、结构、改性及其应用

54

**氯化胆碱/尿素体系分离木质素的作用机制研究**

郭紫薇

中国科学院化学研究所

木质纤维素生物质是地球上最为丰富的可再生资源，主要由纤维素、半纤维素和木质素三大部分组成。但由于三种组分之间存在复杂的化学键连接，再加上纤维素链之间强大的氢键网络结构，以及木质素和半纤维素交错分布和不均一的结构组成，使生物质炼制过程受到了许多阻碍，只有极少部分得到有效利用。本报告开展了基于氯化胆碱/尿素的低共熔溶剂体系分离木质素的作用机制研究。通过木质素分离效果及性能评估、FTIR、NMR等手段，探讨溶剂体系的化学结构等与分子间相互作用的相关性，研究溶剂的氢键碱度和溶液碱性对于木质素分离的作用机制，为木质纤维素生物质的绿色分离和高值化全利用技术提供科学依据和理论基础。

关键字 低共熔溶剂，木质素分离，相互作用

分类：主题D 木质素分离、结构、改性及其应用

56

**马尾松压缩木质素中对羟基苯基单元的连接类型和结构特**征研究

韦笑笑1、纪红兵2

1. 广西大学-轻工与食品工程学院

2. 广西大学-化学化工学院

      解析对羟基苯基（H）单元在木质素中的连接方式是阐明木质素构成的重要内容。为了揭示木质素中H单元的连接方式，本文以马尾松压缩木（含对立木）、马尾松正常木和甘蔗渣为原料提取了四种不同的木质素。后续，以松柏醇/对香豆醇为原料合成了三种脱氢聚合物（DHPs），揭示了H单元的连接方式。通过1H、13C、2D HSQC和31P NMR对木质素和DHPs样品进行系统表征，发现DHPs中H单元主要通过β-O-4、β-β和β-5键与其他单元耦合。木质素NMR结果表明，与对立木磨木木质素和正常木磨木木质素相比，压缩木磨木木质素（CW-MWL）含有大量的H单元，H/G比和H单元酚羟基含量分别为0.15和1.09 mmol/g。与甘蔗渣磨木木质素相比，CW-MWL中的H单元并不以酚类化合物（如对香豆酸）的形式存在。综上，CW-MWL中的H单元可能通过β-O-4、β-β和β-5键与其他单元耦合。该研究探索了压缩木木质素中H单元的结构特征和连接类型，为揭示H单元参与木质素大分子的构建提供了理论参考。

关键字 对羟基苯基单元；连接方式；木质素

分类：主题D 木质素分离、结构、改性及其应用

60

**硫酸盐木素衍生的表面定制氮掺杂碳量子点光催化降解亚甲基蓝**

梁展明、闵斗勇

广西大学

纺织行业最常用的污染物之一亚甲基蓝，是水生生物污染物之一，人体过度接触也会导致过敏、内分泌干扰和心血管疾病等。因此，本研究以光催化降解水体污染物亚甲基蓝。研究采用一步法水热技术，以硫酸盐木质素为原料，以无水乙二胺（EDA）为表面钝化剂，制备了不同氮掺杂含量的碳量子点（CQDs）。HRTEM表明所有CQDs的平均尺寸都低于5 nm。XRD和拉曼研究表明，EDA提高了CQDs的结晶度，CQDs的表面缺陷从0.74增加到0.84。FT-IR和XPS研究表明，EDA成功地修饰了CQDs的表面，并且可以通过不同的添加量来调节表面氮的形态。PL分析表明，添加EDA后，最高发射峰和理想激发波长均发生红移。实验表明，EDA的添加量对CQDs的光学特性和表面氮掺杂形态影响很大。同时，研究了CQDs在模拟日光条件下降解亚甲基蓝的性能。结果表明，NCQDs10光催化降解亚甲基蓝2 h的光催化效率为52%。这是由于吡啶N含量降低，石墨N和吡咯N含量增加，从而调节氧三重态活化和氧吸附的能力，最终影响CQDs的光催化性能。

关键字 木质素，碳量子点，氮掺杂，光催化

分类：主题D 木质素分离、结构、改性及其应用

89

**硫酸盐木质素的烷基化改性及可纺性研究**

王梦蝶

天津工业大学

针对硫酸盐木质素（KL）分子量小、难纺丝的特点，以1,6-二溴己烷对KL进行烷基化改性[1]，然后与PVA共混以提高纺丝液的黏度，通过湿法纺丝法制备初生纤维，为后续制备木质素基碳纤维做准备[2]。确定KL烷基化改性的工艺条件为：KL与1,6-二溴己烷质量比为1:0.3，反应温度90℃，反应时间6h。KL经烷基化改性后，红外及核磁氢谱出现明显的特征峰，重均分子量从3142Da提升到49962Da，热稳定性有明显的提高。改性KL与PVA共混在DMSO中的溶解条件为：烷基化KL与PVA的质量比为1:0.6，溶解温度90℃，溶解时间2h。所制备的烷基化KL/PVA纺丝液与未改性KL/PVA纺丝液相比可纺性有明显提升，为后续制备高性能碳纤维提供了良好的基础。

关键字 木质素改性 PVA 碳纤维

分类：主题D 木质素分离、结构、改性及其应用

132

**碱催化乙二醇-水降解甘蔗渣中木质素的研究**

游紫

广西大学

木质纤维素生物质具有复杂的层次结构和物理顽固性，使其极大地影响生物质的拆解，进而妨碍木质纤维素生物质的高值化利用。在这项工作中，采用正交实验探索了NaOH催化乙二醇-水（NaOH/EG-H2O）降解甘蔗渣中木质素的反应机制。结果表明，在固液比为1:12，溶剂（NaOH:EG:H2O）组成比例为1:85:14，反应温度为160 oC，时间为70 min的条件下，可以去除甘蔗渣中95.71%木质素以及53.59%半纤维素，同时保留85.38%纤维素。在NaOH/EG-H2O体系中，高偶极矩的乙二醇可将木质纤维素内部液化，使更多木质素转化为小分子物质溶出；高温下，乙二醇可作为一种渗透剂在甘蔗渣中为NaOH断裂β-芳基醚键提供有效的反应介质，促进木质素去除。使用2D HSQC NMR和31P-NMR对酸析回收的木质素结构进行分析，发现木质素中仅存在少量木质素-碳水化合物醚键，酚羟基含量高达1.39 mmol/g，且多分散系数为2.128，说明该方法在高效降解木质素且获得高收率纤维素的同时，可得到分散性好、纯度高以及高活性的木质素。

关键字 甘蔗渣，降解，乙二醇，碱，木质素

分类：主题D 木质素分离、结构、改性及其应用

152

**木质素基碳点对SnSe2纳米片光电响应性能的提升机理研究**

王瑞彬、张世龙、张晶

南华大学

近年来，以可再生的木质素为原料开发高性能碳点材料收到了广泛关注[1]。木质素基碳点（LCDs）既具有与其他前驱体制备的碳点一样的出色光致发光性能，又由于木质素上丰富的官能团组成，表现出多样化的可加工性[2]。为进一步拓展LCDs的应用，本研究以邻苯二胺和木质素磺酸钠为前驱体，通过浓硫酸氧化法和水热碳化制备了新型LCDs，并探索了其对SnSe2纳米片光电响应性能的提升机理。测试结果表明，相比于纯SnSe2纳米片，添加少量LCDs（3wt%）的PEC-PDs其光电流密度达到65 μA cm-2，增长率超过225%；同时，可以观察到快速的光响应，较好的光响应性（139 μA W-1）和长程稳定性。进一步测试发现，LCDs具有丰富的掺杂化学态和可定制的宽域下转换光致发光，在光电化学反应过程中可以有效抑制SnSe2上光生电子与空穴的重聚，从而促进后者的光电响应，有望应用于其他二维纳米材料基光电化学型光电探测器（PEC-PDs）[3]。综上所述，本研究为基于可再生且廉价的木质素，提升二维纳米材料基PEC-PDs的光电化学性能拓宽了思路。

关键字 木质素，碳点，光电探测，复合材料

分类：主题D 木质素分离、结构、改性及其应用

178

**基于“解木再造”的木质纤维素基新材料的构建**

朱晨杰

南京工业大学

利用非粮生物质替代化石资源生产绿色低碳、可持续的生物基材料，是助力碳中和与塑料污染治理的有效途径。针对传统尼龙、聚酯、聚氨酯类材料生产依赖化石资源的问题，以木质纤维类生物质为原料，通过构建“解木再造”的策略，开发基于木质素优先策略的木质纤维素催化还原解聚－木质素解聚产物的催化漏斗归一化的技术途径，构建系列木质素基新型聚合砌块，实现木质纤维素基尼龙、聚酯等新材料的合成与性能评价。研究材料的热/力学性能，阐明其在不同环境应答条件下的降解周期与降解机制，探索新材料的应用领域。相关研究将拓展及丰富木质素催化漏斗策略的类型及途径，为“以草代塑”的生物基新材料的开发提供新产品与新思路。

关键字 木质素；木质纤维素；生物基材料

分类：主题D 木质素分离、结构、改性及其应用

185

**预萃取黑液有机成分通过电解促进木质素和碱的回收**

王洋、尹勇军、贾艳龙

广西大学轻工与食品工程学院

       在国际“碳中和”的大背景下，如何更好的处理传统黑液浓缩燃烧所带来的污染排放，成为制浆造纸企业不得不面临的难题。在本研究中，提出通过电化学方法对黑液进行分级处理制备碳氢燃料，提高黑液的利用率，减少黑液直接燃烧所带来的污染及浪费。通过萃取对黑液进行预处理，探究提取黑液中小分子物质后对木质素及碱的回收影响。实验表明碱回收得率最终能达到90%以上，与未经处理黑液相比，碱和木质素回收达到90%的时间缩短23.8%，证明有机小分子物质的去除有利于木质素和碱液的回收。同时可以收集黑液中小分子物质，与木质素分离，分别进行电化学增值。对后续黑液电解工艺进行探讨，常用的三种商业电极中C电极效果最好，有利于黑液电解碱回收。本研究发现浓度的提高不会缩短碱回收速率，虽然高固形物浓度的黑液能在相同的时间内回收更多的木质素和NaOH，但会增加单位电耗。最后对二氯甲烷（DCM）萃取后黑液在所得工艺条件下进行电解，碱回收得率90%时间16h，木质素得率总木质素含量的87.23%，电耗5.21Kwh/kgNaOH。该研究为黑液中各分离组分（木质素和有机物）转化为清洁能源提供了基础；有助于黑液利用效率的提高、大气污染物及温室气体排放的减小，“碳中和”和“碳达峰”目标的实现。

关键字 黑液；电解；碱回收；木质素；碳中和

分类：主题D 木质素分离、结构、改性及其应用

189

**木素-硫辛酸粘性水凝胶的制备性能研究**

孙悦、李秋娴、彭文喧、李许生

广西大学

以NCHPL和硫辛酸（TA）为原料，基于硫辛酸开环和多酚-硫基自由基的亲核加成反应，合成了木素-硫辛酸粘性水凝胶（L-TAH）。该水凝胶中存在丰富的动态共价二硫键和非共价氢键，赋予L-TAH高粘性、自愈性和重塑能力。通过X射线光电子能谱（XPS）和傅里叶变换红外光谱（FT-IR）证实了木素和硫辛酸之间存在化学交联。L-TAH具有出色的粘性，其剪切拉伸强度可达120MPa。L-TAH也具有良好的水稳定性，在潮湿环境中仍然保持有强的剪切拉伸强度（36 MPa）。L-TAH在温和条件的水性介质中合成，没有有毒有机交联剂或金属离子参与合成，具有环境友好性和高可拓展性的特点。L-TAH还具有出色的抗紫外和抗氧化能力以及弹性固体特性，在伤口敷料和软可穿戴电子设备中具有巨大的应用潜力。

关键字 水凝胶 ，绿色，胶粘剂，

分类：主题D 木质素分离、结构、改性及其应用

192

**无外源氢条件下木质素及木质生物质的解聚、转化研究**

王艳芹

华东理工大学

木质素作为地球上最丰富的具有芳香环结构的可再生资源，其催化转化制备含氧芳香化合物具有重要的意义和价值，但通常需要氢气的参与。我们利用木质素结构单元中的H和水介质中的H，在Pt/NiAl2O4催化剂上通过脱氢、脱羰，氢解，甲醇重整制氢的耦合，在不外加任何氢源的条件下，从有机木质素一步制备了附加值更高的4-乙基苯酚，并发现脱甲氧基是反应的控速步骤。进一步地我们利用纤维素、半纤维素和木质素结构及反应性的不同，通过半纤维素的重整提供氢源，实现了桦木木屑无外源氢条件下的三素分离，在高收率得到木质素油的同时，保留了纤维素的完整结构。木质素的剥离率和纤维素的保留率可达90%以上。

关键字 木质素，木质纤维素，氢解，解聚，无外源氢

分类：主题D 木质素分离、结构、改性及其应用

194

**从木质素到精细化学品的绿色催化体系开发**

孙卓华

北京林业大学

木质纤维素作为地球上储量最为丰富的碳中性可再生能源，因其分布广泛、便于存储和运输的优点被视为最佳的化石原料替代品。然而木质纤维素结构复杂且具有不均一性，特别是木质素结构极其复杂，如何低成本地将其大规模转化成高附加值的化学品和材料仍是公认的世界性难题。

近年来，随着木质素优先降解法的提出，木质素的催化降解效率被提升到了一个新的高度。与此同时，木质素单体的种类，选择性和产率也在不断提高。随着各种木质素降解产物的不断丰富，这一领域又迎来了新的挑战--在下游处理过程中如何将所得到的降解产物有效分离提纯并进行高值化利用。近年来，全球各地的研究者们针对所得到的单体的结构特点进行了多种探索。本次会议，报告人将重点阐述近期在木质素降解产物的综合利用方面特别是制备精细化学品方面取得的研究成果。

关键字 木质素，精细化学品，催化转化

分类：主题D 木质素分离、结构、改性及其应用

201

**木质纤维素酶解过程强化**

楼宏铭、邱学青

华南理工大学化学与化工学院

农作物秸秆等木质纤维素中的纤维素和半纤维素可以通过预处理和酶解转变成糖类化合物，再通过生物法或化学法制备生物燃料和其他化学品，但目前仍然存在酶解成本偏高和酶解木质素残渣难以高值利用的难题。

以酶解木质素为原料，引入磺酸根等阴离子和季铵根等阳离子，可以制备木质素两性离子表面活性剂。通过调控阴阳离子的含量可以调控木质素两性表面活性剂的等电点pI以及pH响应性能，使其在纤维素酶适宜pH范围（4.8-5.5）溶于水，并且通过在木质素上竞争吸附减少纤维素酶的无效吸附促进木质纤维素底物的酶解；当pH降至3时，其能够快速析出并且吸附溶液中的纤维素酶实现共沉淀回收纤维素酶，循环使用可以节约50%的纤维素酶。

在酶解木质素上接入磺酸甜菜碱片段制备的木质素两性离子表面活性剂不仅具有pH响应性能，还具有UCST的温度响应性能。通过调控磺酸甜菜碱的接枝量可以使其在酶解反应温度下（50℃）溶于水；当温度降至25℃时，与纤维素酶形成共沉淀。同时降低pH至4时，回收循环使用可以节约70%纤维素酶。

针对酶催化反应温度较低、容易高温失活的难题，通过b-葡萄糖苷酶对MOFs成核的诱导作用，选择合适有机配体（PABA）以及金属离子（Cu2+），制备出具有多级孔结构的花状MOF材料，成功地将b-葡萄糖苷酶包封在MOF内部。其在水相的酶解温度可达100℃，在离子液体中酶解温度可达110℃，对纤维素的酶解速率相比常温下可提升34.2倍。针对MOFs的微孔特质导致高分子量纤维素的传质困难，通过金属竞争配位诱导缺陷法，使用过渡态金属离子作为功能位点构建分级多孔MOFs。包封后耐热温度进一步提升至120℃，对微晶纤维素的转化率可达90%。该方法可以实现β-葡萄糖苷酶在离子液体中高温快速酶解纤维素，大幅加快酶催化反应速度，降低酶用量。

关键字 木质纤维素；酶解；木质素；高温

分类：主题D 木质素分离、结构、改性及其应用

204

**基于木质素衍生物的热固性树脂研究**

刘小青、代金月、刘敬楷

中国科学院宁波材料技术与工程研究所

以可再生资源为原料的生物基高分子材料是当前高分子研究的重要方向之一。天然木质素是一种由三种苯基丙烷类结构单元通过化学键形成的复杂高分子酚类聚合物，是制备可再生芳香类单体的主要原料之一。本文将在综述香草醛、丁香酚、愈创木酚等木质素基平台化合物在热固性树脂合成中应用现状的基础上，重点介绍本团队基于上述单体在阻燃、抗菌、可降解等功能性热固性树脂合成方面的研究进展。

关键字 香草醛、丁香酚、愈创木酚、阻燃、抗菌

分类：主题D 木质素分离、结构、改性及其应用

205

**木质素催化转化制备化学品、燃料与材料**

宋国勇

北京林业大学

木质素是自然界最大宗的可再生芳香碳资源，自身结构的复杂性及化学性能的多变性导致其成为最难以高值化的生物质组分（木质素、纤维素、半纤维素）。本研究依据木本、草本、果壳等木质素结构特征与反应活性，分别采用“原子级分散金属”及“廉价金属活性中心”策略构筑催化体系，实现了不同木质素的高效选择性降解为酚类单体过程，所得产物易分离纯化。在此基础上，利用木本木质素降解愈创木酚和紫丁香酚通过催化加氢脱氧制备了高能航空燃料，利用秸秆木质素降解阿魏酸/对香豆酸酯通过化学衍生与聚合制备了力学性能可控、可再生循环的绿色聚酯高分子，利用蓖麻果壳木质素降解邻苯二酚通过官能团构筑制备药物分子与天然产物，为木质素的高值化利用提供了科学依据与技术路线。

关键字 木质素；催化降解；化学品；燃料；材料

分类：主题D 木质素分离、结构、改性及其应用

211

**自硫掺杂木质素衍生双金属Fe-ZnS/NC催化剂非碱条件氧化解聚木质素研究**

郭海威、陈钊

河北工业大学

木质素氧化解聚被认为是温和条件获得含氧芳香化学品有效策略[1]，其关键在于开发有效活化氧气及高效断裂C-O/C-C的催化剂。本工作以工业废弃木质素为碳/硫前驱体，开发了廉价的自硫掺杂Fe-ZnS/NC双金属催化剂，实现温和条件下（120 oC，空气，2 h）β-O-4侧链中C-O/C-C高效氧化解聚（> 99%转化率及> 80%单体产率），转化效率远优于单独FeS或ZnS的催化剂。DFT计算揭示了FeS位点和ZnS位点在木质素氧化裂解中的协同作用：FeS优先促进O2活化为超氧自由基，ZnS主要作用于β-O-4单元中C-O/C-C的活化，Fe-ZnS双位点大大缩短了超氧自由基向活化的β-O-4的迁移距离，促进了C-O/C-C的高效氧化断裂。Fe-ZnS/NC/甲醇/空气体系可广泛用于其它β-O-4模型底物及真实木质素转化，二者反应路径高度一致。真实木质素氧化解聚结果表明，Fe-ZnS/NC可高效、高选择性地转化木质素为芳香酮单体（香草酸甲酯（1.4 wt%）和丁香酸甲酯（7.5 wt%），选择性高达91.6 %）。本工作开发了一种廉价的自硫掺杂FeZn双金属催化剂，实现非碱条件高效氧化解聚木质素为芳香酮单体。

关键字 木质素，自硫掺杂，Fe-ZnS双金属，非碱条件，氧化解聚

分类：主题D 木质素分离、结构、改性及其应用

218

**木质纤维素原料转化合成高性能航空燃料**

邹吉军

天津大学

液体碳氢燃料可应用于涡喷、涡扇、冲压、液体火箭及组合动力发动机等。燃料的能量是决定飞行性能的关键因素，提高燃料的能量可以在不增加油箱体积的情况下增加航程。同时，为满足严寒天气和高空低温的工作环境，要求燃料具有很好的低温流动性能，即较低的冰点和运动粘度。

以生物质平台化合物为原料制备高密度燃料符合国家可持续发展战略并可拓展燃料来源。本课题组以木质纤维素衍生物，包括环酮（醇）、呋喃醛（醇）、芳香族含氧化合物（苯酚、苯甲醚、愈创木酚）、蒎烯、月桂烯等为原料，发展酸催化烷基化、缩合、光化学环加成等环增长反应，设计制备高活性和高选择性催化剂，发展反应高效耦合集成方法，实现生物质原料混合物直接转化。合成出具有单环、双环、螺环以及多环结构的燃料，密度可超过石油基高密度燃料JP-10，通过引入支链取代基等调控燃料分子结构，可改善燃料的低温性质。上述工作为开发生物质燃料高效合成工艺提供了重要基础。

关键字 木质纤维素，生物燃料，高能燃料

分类：主题D 木质素分离、结构、改性及其应用

220

**木质素基对香豆酸酯绿色制备催化体系的构建与调控**

龙金星

华南理工大学

作为一种重要精细化学品，对香豆酸及其酯在抗血小板活化、抗肿瘤、免疫抑制等方面显示出明显的药理作用，在药物，化妆品等领域有广泛的应用。当前该类化合物主要由石油基对羟基苯甲醛等为原料制备获得。考虑到化石资源的不可再生性，从可再生的生物质出发制备对香豆酸酯对于“碳达峰、碳中和”战略的实施有重要意义。我们基于草本木质素中含有pCA结构单元的特点，分别构建了均相的离子液体催化剂体系，多相的MoOx/MFI体系以及Ni/MFI催化剂体系，通过对催化剂和反应条件的设计与调控，实现了高附加值化学品对香豆酸酯的选择性制备，并对催化剂调控方法、催化机理以及木质素催化转化动力学行为、结构演变和反应历程等进行了详细的研究。例如，以Ni20-Cu5/MFI为催化剂，260℃，2 MPa H2，反应4 h的条件下，实现了木质素选择性转化，所得单酚收率为27.2%，主要产物对香豆酸衍生产物对羟基苯丙酸乙酯的收率为13.2%。亦即，80%木质素H结构单元被选择性裁剪。催化剂表征结果表明，催化剂的层状多级孔结构有利于传质及木质素和Ni-Cu物种的接触；且催化剂的强酸和中酸的比例和挥发性产物的收率呈正相关关系。结合模型化合物解聚性能和木质素结构演变过程，可进一步推测木质素选择性氢解的路径：pCA单元与木质素相连的酯键大量断裂，生成的对香豆酸进一步与反应溶剂原位酯化。

关键字 木质素，对香豆酸酯，催化体系

分类：主题D 木质素分离、结构、改性及其应用

222

**木质素在改性聚乙烯醇复合材料中的应用**

刘伟峰、莫建斌、邱学青

华南理工大学

聚乙烯醇（PVA）具有多羟基强氢键的特点，其熔点与分解温度十分接近，难以进行熔融加工。通常采用共混改性或溶液增塑来提高其熔融加工性能，但却会造成材料强度的严重下降，导致强度和韧性难以兼顾。我们通过引入木质素，利用木质素的含氧极性官能团与PVA的羟基构建界面氢键作用，实现了复合材料同时增强和增韧，还可以利用木质素负载纳米银，赋予材料优异的抗菌性能。此外，在小分子增塑剂的溶液增塑基础上，引入木质素作为次级增塑剂，进一步破坏PVA分子内与分子间氢键和PVA链的规整性，实现了协同增塑，显著降低PVA的熔点。研究表明，木质素的分子量越小，协同增塑的效果越好，PVA复合材料的熔点能降低30多度，复合材料的熔融加工窗口拓宽到约80 oC。增塑改性一般会降低复合材料的力学性能，而木质素的加入使复合材料的抗拉强度和杨氏模量分别提高到70MPa和1.34GPa。同时，木质素能够与小分子增塑剂形成氢键，限制迁移。木质素的加入还能提高复合材料疏水性能，赋予复合材料优异的紫外线屏蔽性能。这工作提供了一个利用木质素协同增塑的策略，为熔融加工制备具良好综合性能的可降解PVA复合材料提供了参考。

关键字 木质素，聚乙烯醇

分类：主题D 木质素分离、结构、改性及其应用

233

**木质素分离方法对麦黄酮结构的影响**

岳凤霞、夏樾、周燕

华南理工大学

麦黄酮（Tricin）是一种黄酮类化合物，也是近年证实的一种新型木质素单体，广泛存在于秸秆类禾本科植物中。麦黄酮具有抗紫外辐射、抗氧化、防癌、保护心脏等功效，在医药和保健领域有着重要的应用前景。由于麦黄酮在强酸、强碱、高温等条件下不稳定，在常规化学处理或制浆过程中受到严重破坏，致使分离得到的木质素中麦黄酮含量极低或消失。然而，不同分离方法对分离木质素中麦黄酮含量影响不一，且分离过程中麦黄酮的结构变化并不清楚。针对上述问题，本研究在酸、碱等不同的处理条件下对麦黄酮的结构变化进行了研究，并应用NMR、GC-MS等结合麦黄酮模型物对不同分离木质素中的麦黄酮进行了定性和定量分析，揭示了不同木质素分离过程中麦黄酮的变化规律；进而，探究了秸秆类木质素中麦黄酮及特征结构对其抗紫外辐射性能的影响，为秸秆类木质素的高值化利用提供参考。

本工作受国家自然科学基金（21908072）及广东省自然科学基金（2023A1515011972）资助。

关键字 木质素分离；麦黄酮；结构变化

分类：主题D 木质素分离、结构、改性及其应用

234

**木质素选择转化制喹喔啉衍生物的研究**

刘宇轩1,2、李昌志1、张涛1

1. 中国科学院大连化学物理研究所

2. 榆林学院

N原子参与木质素解聚获得高附加值含氮芳香化学品成为当前木质素高值化转化的新策略，不仅突破常规解聚反应中仅含有C、H、O的局限，而且解决木质素降解产物难以进一步转化的难题，对木质素资源合理开发利用具有重要的理论和现实意义。从含有芳环结构单元的可再生木质素资源出发，开发出简单高效转化策略制备高附加值芳香胺类化合物对拓展木质素应用领域和生物质高值化转化具有重要意义。我们发展了一种无过渡金属催化木质素模型化合物与邻苯二胺反应制备喹喔啉类化合物的方法。该体系以木质素β-O-4模型化合物和邻苯二胺的反应为模板反应，对反应条件（碱种类、碱量、温度、溶剂等）进行了优化。在最优条件下，考察了木质素模型化合物和邻苯二胺的普适性，可以获得一系列喹喔啉衍生物；进一步对反应机理进行了研究，推测出反应机理。转化过程包括多步反应的高度耦合：木质素C-O键的断裂、脱水缩合、sp3 C-H键活化和分子内的脱水偶联反应。该体系还可以制备药物分子AG1295，为木质素的高值化提供了新的路径。

关键字 木质素，含氮芳香化学品，喹喔啉衍生物

分类：主题D 木质素分离、结构、改性及其应用

237

**低分子量木质素基环氧树脂的制备**

薛敏、岳凤霞

华南理工大学轻工科学与工程学院

环氧树脂是现代工业中必不可少的热固性材料，双酚A型环氧树脂约占90%的环氧树脂市场份额。双酚A是一种内分泌干扰物，在使用过程中具有潜在的安全隐患，应用绿色可再生生物质资源替代双酚A生产环氧树脂已成为当务之急。木质素是一种产量丰富且含有酚羟基的芳香族化合物，结构的相似性使其具有一定的双酚A替代潜力。本研究应用桉木硫酸盐木质素低分子组分部分替代双酚A进行环氧树脂的制备，应用20%、40%和60%三种不同的木质素替代量分别制备了木质素基环氧树脂，进而通过扫描电子显微镜、拉伸试验、热重分析、差示扫描量热分析和动态热机械分析对树脂的形貌和性能进行了表征。研究发现，与双酚A型环氧树脂相比，20%替代量的木质素基环氧树脂的断裂伸长率提高了2倍以上，拉伸应力提高约1.5倍，热稳定性提高了接近50%等。通过木质素低分子量组分部分替代双酚A所制备环氧树脂的机械性能和热性能分别得到了不同程度的改善，具有良好的开发利用前景。

关键字 木质素；双酚A；环氧树脂

分类：主题D 木质素分离、结构、改性及其应用

241

**L-半胱氨酸木质素绿色分离及结构表征**

周鑫

华南理工大学轻工科学与工程学院

低共熔溶剂（DES）具有低成本、合成绿色简单、功能可设计性高等特点。近年来，应用低共熔溶剂进行木质素分离提取受到广泛关注。然而大部分酸性DES在高效分离木质素的同时发生了β-O-4降解与缩合，阻碍了分离木质素的进一步转化利用。L-半胱氨酸绿色无毒，在木质素分离过程中具有一定的β-O-4保护作用。本工作采用 L-半胱氨酸与其它有机酸加热合成了对木质素中β-O-4结构具有预保护机制的酸性 DES溶剂体系。通过改变 DES的配比、温度等，在不同条件下对蔗渣原料处理分离得到了一系列木质素，应用二维核磁（HSQC）、液相色谱（HPLC）以及红外光谱（FT-IR）等手段进行了结构表征。研究发现，该溶剂体系中木质素分离得率约为 60%，β-O-4含量占木质素的 40%（以芳环计）以上，且具有较高的纯度。此外，DES处理后的蔗渣纤维素组分没有出现明显的水解或降解。本研究可以为新型绿色木质素溶剂体系的构建及 L-半胱氨酸木质素的后续利用提供一定理论参考。

关键字 L-半胱氨酸；木质素；木质纤维分离

分类：主题D 木质素分离、结构、改性及其应用

242

**面向可持续农业的木质素降解与高值化**

余洪波1、郑泽1、付潇1、张然2、王磊3

1. 华中科技大学

2. 武汉纺织大学

3. 湖北工业大学

农业废弃物是土壤有机质的主要来源，其还田过程对于维持农业生态系统碳循环和土壤肥力至关重要（Figure 1）。然而，木质素的难降解性是制约农业废弃物快速分解的关键瓶颈，当前磅礴发展的生物炼制产业也可能干扰其碳循环途径。因此，平衡农业废弃物还田和离田利用成为农业可持续发展所面临的挑战。基于以上目标，我们一方面系统揭示自然界中木质素碳循环的生物降解机理，挖掘高效木质素降解菌株并解析其木质素代谢机制，在此基础上构建生物发酵增效农业废弃物分解的技术体系，并建成年产万吨去木质化秸秆有机肥生产线 [1-3]；另一方面利用生物炼制技术将秸秆多糖转化为生物基化工产品，同时将分离产生的木质素废弃物转化为生物炭、农药纳米载体等农用产品 [4-6]，使木质素在服务可持续农业的同时回归农田生态系统，改善土壤质量并稳定土壤碳封存。本研究不仅促进了农业废弃物综合利用和可持续农业的发展，也为实现我国农业“双碳”目标提供新的理论和应用方向。

关键字 农业废弃物；木质素；生物降解；高值化

分类：主题D 木质素分离、结构、改性及其应用

243

**木质素纳米粒子之间网络结构的构建及其增强Pickering乳液稳定性的研究**

田静1、王沛沛1、郭家奇1、朱文远1、宋君龙1、Orlando Rojas2

1. 南京林业大学

2. 英属哥伦比亚大学

木质素作为一种天然的三维网络状的高分子聚合物，含有疏水骨架和亲水性官能团，易于调节的表面亲疏水性，使木质素纳米粒子（LP）稳定的Pickering乳液具有灵活性高、成本低、无毒、可再生等优点，如何利用LP作为单一的Pickering乳剂提高乳液的稳定性对木质素的高值化利用有非常重要的意义。本研究通过在均一的LP胶体溶液中加入NaCl，在粒子之间形成三维网络结构的同时，还调节了粒子的亲疏水性，增强了LP在十六烷-水界面上的不可逆吸附。结果表明随NaCl用量增加，LP之间的网络结构程度增强，液滴之间建立起网络结构，大大的提高了Pickering乳液的稳定性；同时有更多的LP吸附在界面上，赋予乳液液滴较强的抗聚结稳定性；乳液的粘弹性和刚性均随网络结构的增强而提高。降低LP之间的静电作用虽然不利于粒子的稳定性，但可以使粒子之间形成刚性的网络结构，同时可以提高LP对油相的亲和力，有利于制备出高稳定性、高耐盐性的Pickering乳液，有利于拓宽木质素乳液的工业化应用。

关键字 木质素纳米粒子，Pickering乳液，网络结构

分类：主题D 木质素分离、结构、改性及其应用

245

**新型Brønsted酸低共熔溶剂温和分馏高质量木质素及协同增效碳水化合物酶解转化**

杨积有、张婉靖、唐义泉、李明飞、彭锋、边静

北京林业大学

使用极具替代潜力的低共熔溶剂拆解木质纤维素已成为一种新型的、低成本和可持续的“木质素优先”生物炼制方法。基于该策略，我们提出了一种采用多元醇基Brønsted酸低共熔溶剂从木质纤维素中温和分馏富含β–O–4结构的木质素，并能同时提高可发酵糖产量的新方法。该方法可分离获得53%以上的木质素，同时实现碳水化合物酶解转化率大幅提高（葡萄糖和木糖产量分别达94.6%和87.7%）。木质素的结构研究发现，多元醇能捕获酸性低共熔溶剂处理过程中产生的α-碳正离子中间体，形成多元醇烷氧基化木质素，使74.6~98.9%的β–O–4结构得以保留，同时抑制了木质素缩合。这种木质素保护机制在增效酶水解方面也发挥了关键作用。此外，基于所分离木质素呈现出较浅的颜色以及由π–π相互作用驱动自组装形成的球形纳米颗粒结构，其在天然防晒霜应用方面表现出出色的紫外线屏蔽性能和良好的商业化应用前景。

关键字 Brønsted酸低共熔溶剂；木质素；β–O–4；防晒霜；酶解

分类：主题D 木质素分离、结构、改性及其应用

253

**硼氮掺杂高耐热性木质素炭吸附焚烧烟气氯代芳烃研究**

李昕阳、郭海威

河北工业大学

利用工业废弃木质素制备碳质吸附剂净化高毒性氯代芳烃具有经济性，然而传统炭材料较差耐热性限制其大规模应用。基于此，本工作制备硼氮掺杂高耐热性木质素炭（BN-C），通过调变硼/氮掺杂类型、含量、碳源及热解温度调控炭材料物化性质。结果表明BN-C (1:2)表现出更好的耐热性能，质量损失温度高达505 oC（高于单独氮掺杂NC：430 oC）。以邻二氯苯为模型污染物，BN-C (1:2)表现出最优吸附容量1510.0 mg/g（高于NC：1086.9 mg/g）与良好循环稳定性（10次循环平均吸附容量为1245.1 mg/g）。BN-C优异的热稳定性归因于生成热力学稳定的六方氮化硼(*h*-BN)，其良好热传导性可促进热量快速转移。BN-C良好吸附性能归因于材料高比表面积、丰富羟基官能团以及高石墨化程度。本研究指导开发杂原子掺杂高耐热性木质素基碳质吸附剂净化气态污染物，具有大气污染防控及固废资源化双重意义。

关键字 硼氮掺杂; 木质素炭; 热稳定性; 吸附能力

分类：主题D 木质素分离、结构、改性及其应用

260

**双尺寸金属催化木质素衍生物C-O键选择性断裂及功能化**

**研究**

李虎

贵州大学

木质素作为唯一可再生的芳香族聚合物，被认为是替代化石资源生产芳香化合物最重要的原料；将低成本木质素定向升级为生物燃料或精细化学品具有重要意义，但因其结构复杂尚未被充分利用。对此，我们制备了一系列单原子和纳米粒子共存的双尺寸催化材料：一方面将木质素衍生酚经加氢脱氧转化为相应的芳烃，并开发了涉及氧化、贝克曼重排、醇解等多步骤递次的生物漏斗策略，将复杂的木质素直接转化为高附加值的苯胺（总收率为13.2%）；另一方面将木质素衍生酚经选择性C-O键断裂及去芳构化反应制备环己醇类化学品，随后经脱氢、还原胺化将其进一步转化为环己胺。这些胺类化合物是制造染料、医药、树脂和橡胶等产品的重要精细化工中间体。该研究不仅实现了可再生木质素资源的定向催化转化，而且有助于开发双尺寸金属催化策略将生物质原料和废弃物等高效升级转化为特定的含氮化学品。

关键字 木质素；多相催化；尺寸效应；含氮化学品

分类：主题D 木质素分离、结构、改性及其应用

264

**限域-碳热还原调控金属基异质界面结构强化木质素C-O键**

**断裂**

李天津、陈雷

齐鲁工业大学（山东省科学院）

木质素是一种由苯丙烷结构单元通过C-C/C-O键连接的天然多酚化合物，被视为替代石化资源制备酚类化合物的可再生资源。通过简单的KOH活化法制备氮掺杂菌渣多孔碳，利用微孔结构和多孔碳对金属盐离子的限域作用和碳热还原制备高度分散的Ru基催化剂，木质素氢解获得芳香单体最高收率达到30.5%。选择性调控氮活性中心结构和密度，建立金属粒径价态、电子效应的调控方法。研究催化剂不同功能组分耦合匹配对木质素C-O键断裂的促进效应，揭示金属-载体界面结构与木质素氢解的构效关系，为木质素复杂结构定向转化催化剂的结构设计提供理论基础。

关键字 木质素，氢解，氮掺杂，异质结构

分类：主题D 木质素分离、结构、改性及其应用

266

**木质素结构与催化氢解活性研究**

肖领平

大连工业大学 轻工与化学工程学院，辽宁省生物质化学与材料重点实验室

木质素是构成木质纤维生物质细胞壁的主要组分成分之一，同时也是自然界中能够提供可再生芳香基化合物的非化石资源。通过催化氢解实现木质素C–O键的有效断裂，将其定向解聚制备高附加值苯酚类单体是当前木质素利用的研究热点。然而由于木质素自身组成和结构的复杂性和非均一性，尤其是工业木质素在分离制备以及处理过程中的缩合副反应，大大降低了其催化反应活性。本报告将从木质素的结构入手，通过构建新型金属催化剂，深入揭示木质素结构与催化氢解活性的构效关系；在阐明木质素催化反应路径及选择性调控机制的基础上，实现降解产物的分离鉴定与高效利用，从而为木质素的高值化利用提供新的研究思路。

关键字 木质素；结构表征；催化氢解；酚类单体

分类：主题D 木质素分离、结构、改性及其应用

267

**镍/硅酸镍催化剂原位构建及应用于木质素加氢脱氧制备烃类燃**料

欧阳新平

华南理工大学

由于木质素的复杂结构及化学惰性，木质素的完全加氢脱氧（HDO）依然充满挑战。因此，开发一种高活性、稳定且低成本的催化剂对木质素高效转化为烃类燃料极其重要。通过“先还原后氧化”策略，制备了一种层状类硅酸镍纳米片（Ni-PS），并通过部分原位，Ni-PS前驱体部分还原为Ni0纳米颗粒，其余部分作为载体。研究发现，催化剂中含硅载体与镍物种的相互作用更强，从而限制了Ni-PS的过度还原，并阻碍了Ni0颗粒的聚集。Ni-PS载体上的缺陷位点和酸性位点随着还原条件的增强而增加。优化制备的Ni/Ni-PS催化剂在温和反应条件下催化转化木质素模型物和酶解木质素，分别获得98.3%的环烷烃和40.4%烃类化合物收率，与报道的贵金属催化剂相当。丰富的表面缺陷（Ni空位和O空位）、分散均匀的Ni0纳米颗粒和合适数量的Lewis酸酸性位点是Ni/Ni-PS催化剂具有优异的木质素解聚和HDO催化活性的主要原因。这种新型催化剂的制备策略为生物质直接HDO催化转化体系的设计提供了参考。

关键字 木质素，加氢脱氧，催化转化，镍基催化剂

分类：主题D 木质素分离、结构、改性及其应用

301

**FT-Raman结合机器学习算法实现杨木木质素含量的快速测定**

高文丽

上海科技大学

为了提高木材化学成分的测定效率，减少化学试剂的用量，本研究采用了傅里叶变换拉曼光谱（FT-Raman）技术结合机器学习算法，实现了杨木木质素含量的快速测定。具体来说，以125组不同无性系、不同植株的杨木样品为研究对象，应用湿化学法测定其木质素含量作为定量模型实测值，并采集其对应的傅里叶变换拉曼光谱，对采集的光谱进行平滑、基线校正、标准化、反卷积等运算处理后，提取与木质素相关的拉曼信息作为定量模型的预测变量，利用机器学习算法构建杨木木质素的定量预测模型，以决定系数R2和均方根误差RMSE对模型的预测精度进行评价。研究结果表明，该方法能够有效地提取木材拉曼光谱中携带化学信息的信号，机器学习算法能够有效地利用拉曼光谱数据建立杨木木质素含量的预测模型，测试集的决定系数R2高达0.94，均方根误差RMSE低至0.43。本研究为木质纤维材料化学成分的快速测定提供了一种新的方法。

关键字 拉曼光谱；机器学习；木质素

分类：主题D 木质素分离、结构、改性及其应用

303

**硫酸盐木质素低分子量组分绿色分离体系的构建**

张烁、王江丽、岳凤霞

华南理工大学

硫酸盐木质素是一种丰富的芳烃资源，但受到化学结构和分子量分布的高度异质性的限制，并没有得到充分利用[1, 2]。前期研究发现硫酸盐法制浆黑液中低分子量组分含量丰富，具有较好的开发利用前景。然而，报道中分离低分子量组分所用溶剂为二氯甲烷，毒性较大。本研究使用不同比例的乙醇/水溶液结合木质素自水解反应，从桉木硫酸盐木质素中分馏获得可溶和不可溶两种木质素组分。通过条件优化，可溶组分得率约为40%。对该分离体系所得不同组分采用GPC、GC-MS和2D HSQC NMR进行分析，发现可溶组分中主要以S型木质素单体产物为主，其中2,6-二甲氧基苯酚、丁香醛和乙酰丁香酮的含量较为突出。本研究成功构建了硫酸盐木质素低分子量组分的绿色高效分级分离体系，为硫酸盐木质素的高值化利用提供了理论依据和技术支撑。

关键字 硫酸盐木质素；低分子量；绿色分离

分类：主题D 木质素分离、结构、改性及其应用

313

**生物转化木质素及单体生产芳香族化合物**

李炳志

天津大学

木质素是地球上最大的可再生芳香类化合物资源库，其高效利用是生物质转化的重要难点，对人类社会可持续发展具有重要意义，是我国“双碳”目标达成的重要助力。微生物生物转化因其绿色、条件温和，是当前生物质利用研究的热点方向之一。本研究组根据木质素降解存在多种复杂单体的特点，在不同多种微生物中设计构建了木质素多单体高值化利用的“漏斗型”人工代谢通路，并对代谢通路进行精细调控，实现了木质素高效转化为单一苯环类高附加值产品，为生物质高值化利用问题提供了新的解决方案。

关键字 合成生物学；代谢途径改造；生物漏斗；木质素；生物炼制

分类：主题D 木质素分离、结构、改性及其应用

314

**基于木质素的结构调控构建无载体功能化木质素材料用于提高其抗肿瘤活性**

王一霖1、姜波1、王鹏2、金永灿1

1. 南京林业大学

2. 南京大学医学院附属鼓楼医院 运动医学与成人重建外科

木质素是植物中最丰富的芳香族生物聚合物之一，其丰富的活性位点和官能团，低毒性和良好的生物相容性使其在医学领域存在极高的应用价值。本研究通过简单而绿色的方法对木质素进行梯度酸沉分级和结构修饰，以提高其抗肿瘤活性。研究发现，pH=9-13的木质素级分（KL-3）具有较好的体外细胞毒性。对KL-3进行脱甲基化（DKL-3）、磺化（SL-3）和脱甲基磺化（DSKL-3）结构修饰后，在肿瘤微环境（TME）中均表现出更高的谷胱甘肽（GSH）响应性，激发胞内活性氧（ROS）的产生和线粒体的损伤，从而诱导HepG2细胞的凋亡，而对正常细胞损伤较小。此外，体内实验结果表明，KL-3，SL-3，DKL-3和DSKL-3都具有较好的肿瘤抑制效果和良好的生物安全性。该研究为构建不同结构的无载体功能化木质素抗癌材料提供了新思路，并进一步强调了木质素作为一种多功能和有效的生物医学应用材料的潜力。

关键字 木质素；结构修饰；谷胱甘肽；活性氧；线粒体；抗肿瘤活性

分类：主题D 木质素分离、结构、改性及其应用

319

**杂原子掺杂木质素炭在储能及环境领域应用进展研究**

孙天

河北工业大学

利用工业废弃木质素作为可持续资源制备炭材料已被认为是替代煤基炭材料的重要策略。我们综述了近年来木质素炭材料在电池、电容器等储能领域、环境领域、物质检测及催化领域的应用进展。尤其是，综述了杂原子掺杂（如N掺杂或N/S/O/P共掺杂）对木质素基炭材料的物理化学性质（包括BET比表面积、缺陷结构、石墨化程度、亲疏水性、电导率、电子密度）的影响进行了关键的讨论。例如，N掺杂可以提高相应的缺陷结构、石墨化程度、电导率、活性位点和BET比表面积，同时可炭材料扩大层间距，S, O, P原子通常与N共掺杂起到辅助N掺杂作用。特别是，上述性能影响电池的可逆容量、倍率性能和循环性能，电容器的电容和能量密度以及木质素基碳质吸附剂对污染物去除的吸附能力。以上进展为工业废弃物木质素资源化利用提供研究思路。

关键字 木质素，炭材料，多原子掺杂，应用

分类：主题D 木质素分离、结构、改性及其应用

331

**工业碱木质素自催化功能化制备高性能固定重金属**

**生物炭**

王章鸿

贵州民族大学

工业碱木质素作为造纸制浆产业的副产物，其产量大、盐分高、结构复杂、分离成本高，难于被资源化利用，开发其合理、可行的资源化利用途径将有助于推动产业的绿色发展[1-2]。本研究直接将收集自造纸制浆厂的工业碱木质素在立式固定床中进行高温热解（600-800 ℃）制备生物炭并用于固定重金属，通过与酸处理去掉灰分的木质素进行对比，利用TGA、ICP-OES、N2吸附脱附、XRD、FT-IR、SEM等对生物炭理化特性进行分析，并进一步剖析生物炭对重金属的吸附固定行为及机制。结果显示，工业碱木质素的灰分含量为32.81%，且主要由钠盐组成。在热解过程中，工业碱木质素中的盐分具有特殊的催化功能，能够强化木质素的分解，降低其40%的反应活化能，并促进孔隙结构的发育，使得工业碱木质素生物炭的比表面积约为酸处理木质素生物炭的12倍。另一方面，工业碱木质素中较高的盐分在其制备生物炭过程中又可对其进行功能化，使得所得生物炭富含钠盐矿物质（如Na2CO3、Na2SiO3等），并以纳米颗粒得形式均匀的分散于生物炭表面，在固定重金属过程中扮演重要的吸附位点，通过表面沉积、沉淀作用和离子交换作用等对重金属进行有效的固定。动力学分析表明，工业碱木质素生物炭对重金属（Cd(II)和Cu(II)）的吸附固定主要为化学作用主导的过程，吸附过程进行得较快，在1 h内即达到吸附平衡。同时，Langmuir吸附等温线的拟合显示，工业碱木质素生物炭对Cd(II)和Cu(II)的理论最大吸附量分别为414.56和267.83 mg/g，优于酸处理木质素及文献中所报道的大部分生物炭。本研究表明，工业碱木质素在热解制备生物炭过程具备特殊的自催化功能化作用，是其可行的资源化利用方式。

关键字 工业碱木质素; 热解; 生物炭; 催化; 功能化; 重金属

分类：主题D 木质素分离、结构、改性及其应用

334

**超分子木质素：从非共价组装到功能材料**

王海荣、刘巧玲、彭锋、郝翔

北京林业大学

木质素作为天然两亲性大分子，对其微观组装结构局部调控可实现其宏观材料性能的突跃。在前期，我们成功将超分子聚合与低共熔策略结合（Figure 1）[1]，获得一系列具有超低玻璃化转变温度的（-57.5到9 oC）低共熔超分子木质素（Deep eutectic supramolecular lignins）。进一步，我们利用非共价打孔策略，将碱木质素与功能化小分子溶液中共组装，构建了一系列孔喉尺寸可调且具有反应活性的纳米多孔木质素。与传统木质素自身形成多孔纳米材料或共价改性再组装不同，非共价组装方法更加的灵活和绿色，同时能高效的在木质素纳米多孔球外围上引入多种功能基团，如巯基、羧基、环氧基等。此外，纳米多孔木质素可高效转化为纳米催化剂、吸附膜及粘附材料等，其宏观性能表现出有趣的孔喉依赖性，为木质素功能化利用提供全新的思路。

关键字 木质素，共价自组装，超分子材料

分类：主题D 木质素分离、结构、改性及其应用

339

**自硫掺杂木质素衍生双金属Fe-ZnS/NC催化剂在非碱条件下氧化解聚木质素研究**

陈钊

河北工业大学

木质素氧化解聚被认为是温和条件获得高附加值芳香化学品有效策略，其关键在于开发有效活化氧气和促进C-O/C-C断裂的催化剂。本文以工业废弃木质素为碳/硫前驱体，开发了自硫掺杂Fe-ZnS/NC双金属催化剂，在温和条件下（120℃）实现β-O-4中C-O/C-C高效氧化裂解，转化率大于99%，单体产率高于80%，优于仅具有FeS或ZnS位点的催化剂。Fe-ZnS/NC也可广泛用于其它β-O-4模型化合物及真实木质素。结果表明，Fe-ZnS/NC可以有效地将氧化木质素高选择性地转化为芳香酮类单体(总单体产率为11.81 wt%，选择性高达91.6%)。密度泛函理论（DFT）计算表明了FeS位点和ZnS位点在木质素氧化裂解中的协同作用：FeS位点有助于将O2活化为超氧自由基，而ZnS位点有助于β-O-4单元中羰基的极化。双反应位点大大缩短了超氧自由基向极化的β-O-4模型化合物的迁移距离，促进了C-O/C-C的高效氧化裂解。本工作开发了一种廉价的自硫掺杂FeZn双金属催化剂，实现无碱条件木质素高效氧化解聚为芳香产物。

关键字 催化剂设计，双反应位点，生物质，氧化裂解，木质素

分类：主题D 木质素分离、结构、改性及其应用

341

**木质素基高性能可降解复合材料构筑与性能研究**

常广谦、王汉敏、侯庆喜

天津科技大学

可降解塑料因其绿色环保性被广泛应用，但其成本高、性能单一等因素限制了其后续利用。木质素与可降解塑料复合可制备功能性可降解复合材料，但其较差的分散性和相容性限制了低成本复合材料制备，这也是生物基材料研究的重点和难点问题之一。本研究将木质素与聚己二酸/对苯二甲酸丁二醇酯（PBAT）复合制备了一批高性能木质素基可降解复合材料。采用环保性磷酸三甲酯对木质素进行简易高效甲基化定向结构调控，以提升其与PBAT界面相容性。研究表明，改性木质素分子量增加、热稳定性增强、Tg降低；木质素改性后所制备复合材料不仅具有较高热稳定性、优异紫外线屏蔽性能和抗菌性，而且改性木质素含量为40wt%时，材料拉伸强度仍是未改性的2倍多、断裂伸长率提升600%。微观形貌和X射线能谱表明，改性木质素在塑料基体中具有更好的分散性和界面相互作用，从微观和分子尺度显著提升了复合材料体系的相容性和各项性能。本研究提出一种绿色低成本且可规模化生产高强度和多功能性的生物基可降解复合材料，可应用于包装材料等。

关键字 木质素，结构调控，PBAT，生物基复合材料，界面作用

分类：主题D 木质素分离、结构、改性及其应用

346

**木质素催化解聚制备芳香类化合物**

张士成

复旦大学环境科学与工程系

将木质素高效转化为高附加值化学品和生物燃料对生物精炼厂的可持续发展具有重要意义。然而，木质素的增值受其结构变异和复杂性的高度限制。研究首先选取香兰素为木质素模型化合物，探究通过调控Lewis酸合成镍负载的不同金属磷酸盐催化剂(Ni/MP, M= Ti, Zr, Nb, La, Ce)对其加氢脱氧的作用机制。研究表明，Ni/ZrP的高催化活性（220 oC, 0.5 Mpa H2下反应30min, 转化率达97.08%，2-甲氧基-4-甲基苯酚产率达88.39%）归因于其比表面积较大、金属尺寸较小、强金属-载体相互作用及最佳酸度，并证实Ni、Brønsted酸和Lewis酸在香兰素转化中的协同作用。其次，将模型化合物研究成果应用于实际木质素解聚。提取五种源自草木、硬木和软木的木质素，考察其结构特性和关键特征，从而快速高选择性生产芳烃。使用微波辅助水热液化技术促进木质素温和条件下的碱催化解聚。在220 °C下反应1分钟即获得58.5-78. 6%的低分子量生物油。特别是，富含可裂解β-O-4键的草木木质素能实现快速单体生产，其特殊的对香豆酸成分对4-乙烯基苯酚的单体选择性高达66%。木质素特性（连接键、S / G / H单元和分子量）和主要单体产品的稳定性研究揭示了反应性中间体（醛和S型产物）的快速降解以及单体的稳定性/反应性如何影响选择性生产。除反应参数外，通过计算木质素特性与转化效率之间的Pearson相关系数，进一步确定了控制木质素转化的关键因素。最后，我们希望对木质素模型化合物的升级及木质素结构-性质-可降解性关系和反应机制的研究可以为其增值提供理论和实验依据，以促进木质素的高效利用。

关键字 木质素模型化合物；木质素；芳香类化合物；加氢脱氧；解聚

分类：主题D 木质素分离、结构、改性及其应用

348

**木质素绿色高效分离及定向转化制备高值化学品**

沈晓骏

北京林业大学

木质生物质是重要的可再生碳资源，主要由纤维素、半纤维素和木质素组成。目前，纤维素和半纤维素已能够得到高效转化和利用，由于木质素结构复杂和不均一性，使得木质素转化制备小分子化合物往往得到混合物，后续分离提纯工程复杂、能耗高。因此，如何将木质素高效清洁分离并定向转化为高附加值化学品是一个关键的难题。作者合成多种绿色溶剂低共熔体系，高效拆解木质纤维素，制备高纯度的木质素，同时大幅度提高纤维素酶水解率；同时采用多种先进手段，定向将木质素的芳香环以及甲氧基官能团定向制备愈创木酚和乙酸；最后还采用结构单一的C型木质素，通过氢解-脱烷基化接力催化的方式定向转化为邻苯二酚和丙烯。以上工作发展了新的木质素制备策略和转化技术，能够将木质素清洁高效分离并有针对性地转化为高附加值化学品。这一创新思路为木质素高值化利用提供了一个新模式。

关键字 木质素，低共熔溶剂，清洁分离，定向转化

分类：主题D 木质素分离、结构、改性及其应用

350

**本征导电木质素诱导室温可逆和超拉伸的**

**聚乙烯醇水凝胶**

李秋娴、孙悦、彭文暄

广西大学

利用简单的硫酸碳化方法，对木质素等绿色原料进行低温碳化，通过控制连续反应过程和隔绝氧气，我们直接提取了本征导电木质素（LCL），其中木质素的受限范围[1]分子链仅在90 ℃和大气压下转化为高度石墨化的碳，微观结构发现其自组装为紧密堆叠的片状结构，再对其进行微波处理得到大规模扭曲的石墨烯膜。通过改变硫酸浓度可以获得高分散性亲水闪亮细腻粉末以及疏水特性的黑色粉末。使用动态化学交联的PVA和硼砂与甘油和LCL，制备了一个强大的多功能自愈PGL水凝胶生物传感器。所获得的PGL水凝胶具有优异的机械性能，超过3000%的拉伸性能，其由于PGL水凝胶内存在导电网络和氢键，因此具有良好的粘附能力、稳健的自修复性质和室温可逆性。这些发现突破了木质素本身不能导电的传统观念，有望将木质纤维素的应用潜力扩展到储能、催化和传感等领域。

关键字 木质素、导电网络、超拉伸、生物传感

分类：主题D 木质素分离、结构、改性及其应用

364

**NiCo2O4尖晶石电催化木质素模型物连续裂解偶**

**联合成喹啉**

漆毅、林绪亮、秦延林

广东工业大学

从可再生生物资源中生产化学品和燃料的技术是深入研究的重点，从木质素生产生物可再生化学品的一个主要障碍是将这种顽固的材料选择性解聚成可用的单体。 由于木质素结构复杂且涉及多个步骤，包括木质素C-O键的断裂和杂环芳环的形成，从木质素构建含N有机杂环化合物仍然是一个巨大的挑战。以普鲁士蓝纳米立方体为前驱体，借助阳离子交换和煅烧氧化，促进达成了尖晶石纳米盒的定向合成和阳离子的可控调控。在以NiCo2O4尖晶石氧化物作为电催化剂实现了木质素β-O-4模型化合物氧化裂解和偶联含N有机物可持续合成喹啉衍生物。木质素β-O-4模型化合物转化高达99.2%，喹啉和苯酚的选择性分别为37.5%和31.5%。

关键字 尖晶石，木质素，催化偶联

分类：主题D 木质素分离、结构、改性及其应用

376

**基于乙醇抽提纯化黑液木质素**

贾艳龙、王洋、李博伦、王梦艳、刘江

广西大学轻工与食品工程学院

为了实现黑液木质素的高效利用，采用酸析和乙醇抽提高效纯化黑液木质素。首先用酸析法提取黑液木质素，然后采用乙醇抽提得到纯化木质素。纯化木质素回收率达64.00%，仅含3.38%的无机盐，通过表征分析发现纯化的木质素是大分子木质素片段，相比粗木质素的白度更高，活性低，有利于木质素在防晒霜的市场推广，是一种可以直接使用的工业产品，应用广泛。

关键字 黑液；乙醇抽提；纯化木质素

分类：主题D 木质素分离、结构、改性及其应用

388

**全木质素基胶黏剂的制备与应用**

帅李、罗小林、杨光绪、龚正刚

福建农林大学

将木质素替代苯酚合成胶黏剂已经被广泛研究，但是合成的胶黏剂粘度大、颜色深、固化温度高、固化时间长，大幅降低了人造板生产效率、增加了人造板的制造成本。因此，木质素作为原料合成的酚醛树脂胶黏剂与传统脲醛树脂和酚醛树脂胶黏剂相比，并未体现出明显优势，因而应用较少。本报告将介绍一种全木质素基的胶黏剂制备方法，所制备的胶黏剂无论在固化温度、固化时间以及机械性能方面均优于脲醛树脂胶黏剂，各项指标与酚醛树脂胶黏剂持平。所制备的胶合板经过检测，其甲醛释放量达到E0级，优于酚醛树脂和脲醛树脂。

关键字 木质素、胶黏剂、环保、制备、性能

分类：主题D 木质素分离、结构、改性及其应用

397

**木质素基仿生粘附材料设计与改性应用**

申金来、卢铭津、钱勇、邱学青

华南理工大学

木质素作为天然“粘合剂”，在植物中与半纤维素通过醚键、氢键等形成木质素/碳水复合物固定纤维素。但是，分离出来的木质素存在耐水性差、强度低等不足，限制了其粘附应用。受贻贝粘附蛋白中关键邻苯二酚结构启发，通过水/有机相脱甲基改性，原位制备邻苯二酚木质素。进一步引入酸/碱性氨基酸，通过离子-π/空间关联作用等协同强化木质素的粘附性能，实现木质素从植物粘结向仿生粘附转变。改性产品与皮肤粘附作用力达到0.74±0.05 mN•m-1，为未改性木质素体系的5.31倍。在此基础上，成功将粘附改性木质素应用于柔性电子皮肤和超低掺量锂硫电池粘结剂。相关研究可为木质素的仿生改性及在日化、电子、能源等领域的粘附应用提供理论与技术指导，推进木质素的高端、高值、高效利用。

关键字 木质素，粘附材料，仿生改性

分类：主题D 木质素分离、结构、改性及其应用

402

**木质素生物转化制备生物可降解塑料PHAs**

刘志华、李炳志、元英进

天津大学

木质素是自然界储量最丰富的可再生芳香化合物，是仅次于纤维素的第二大生物聚合物[1,2]。木质素生物转化利用微生物的天然“生物漏斗”途径将异质芳香衍生物转化为高价值能源、化学品和材料等，是一种绿色低碳新型生物制造模式[3,4]。当前，制约木质素生物转化的关键挑战是如何提升木质素生物可获得性与促进其生物转化效率。针对这一难题，从木质素大分子和疏水本征特性出发，通过构建生物质多组分协同拆分技术，原位定向调节木质素结构特性，强化亲水基团并消除重聚合反应，提高了木质素的生物可获得性；然后，利用合成生物学方法构建木质素生物转化细胞工厂，开发设计多功能生物转化路径，强化了高价值产物合成效率，如可降解生物塑料PHAs、芳香精细化学品等；提出木质素级联生物转化理念，建立木质素生物转化模块化工艺提升PHAs产量达最高水平，开发木质素生物转化过程经济评估模型，提升木质素生物转化技术可行性，为生物炼制大规模应用提供了技术参考[1,2]。

关键字 木质素，生物转化，生物可降解塑料，生物炼制

分类：主题D 木质素分离、结构、改性及其应用

418

**木质素分离及功能材料的构建与应用**

许凤、游婷婷、李海潮、何源、叶海船

北京林业大学

      木质素是植物细胞壁三大化学组成之一，具有生物可降解性、环境友好性、生物相容性且含量丰富等优点使其在制备功能材料领域备受关注。为此，我们首先利用绿色低共熔溶剂（DES）的可设计性构建DES溶剂体系高效断裂组分间的化学键，实现木质素高效分离。其次，通过绿色溶剂溶解再生、界面化学改性等技术创制了一系列包括木质素磺酸盐/MXene二维碳电极材料、环保酚醛树脂、多功能薄膜以及生物塑料等先进功能材料，揭示木质素结构与材料性能之间的构效关系。研究发现，制备的木质素基电极材料具有优异的电化学性能；采用木质素酚化修饰及表面浸渍功能化可提高木质素基薄膜和树脂材料的性能；创新开发出界面增容技术制备增强型木质素基3D打印材料，获得了兼具高韧性、高强度和高应变的木质素基3D打印材料。此外，从造纸黑液污泥中筛选到一株可降解木质素的嗜盐碱微生物。通过PHA发酵条件的优化，实现了PHA的开放式制备。研究成果将为木质素的高值定制化利用奠定基础。

关键字 低共熔溶剂；电极材料；树脂材料；生物塑料

分类：主题D 木质素分离、结构、改性及其应用

423

**一种新型生物基阻燃剂的热降解动力学**

韩威、马凯、邹光龙

贵州民族大学

以生物基平台化合物为原料，合成了一种新型生物基阻燃剂。首先用核磁和红外光谱对其结构进行确证，然后采用热重分析法研究其在氮气氛围下的热分解行为。分析不同升温速率下的TGA曲线发现其热分解过程分为两个阶段。分别采用Kissinger方法和Flynn-Wall-Ozawa方法计算热分解过程中的反应活化能。结果表明，阻燃剂VDM第一阶段热分解过程的活化能为88.63 KJ / mol和94.61 KJ / mol；阻燃剂VDM第二阶段热分解过程的活化能为144.94 KJ / mol和149.28 KJ / mol。以上结果为更深入的研究生物基阻燃剂的热解行为及机理提供了有益的信息。

关键字 生物基阻燃剂；Kissinger法；Flynn-Wall-Ozawa法；热降解动力学；活化能

分类：主题D 木质素分离、结构、改性及其应用

425

**设计金属-空位界面高效催化木质素油加氢脱氧**

王威燕、周含洲、仵奎

湘潭大学

    木质素油经加氢脱氧（HDO）提质后可成为一种理想的石油替代能源，在缓解石油依赖方面将发挥重要作用[1]。MoO3基负载型催化剂在催化木质素单体化合物HDO反应中表现出良好的活性，然而不同合成方法得到的催化剂活性存在明显差异[2, 3]。为了设计高效的MoO3基HDO催化剂，本研究首先采用密度泛函理论（DFT）分析了不同构型的Ni-MoO3上含氧化合物HDO能量变化，发现表面Ni金属团簇与端氧空位形成的金属-空位界面，能够有效降低酚类脱氧反应的能垒。基于DFT结果，我们采用水热合成的NiMoO4作为前驱体，并通过低温还原将Ni从NiMoO4表面迁出并还原为金属态，制备出Ni-MoO3-x催化剂。在这一过程中，Ni物种的演化诱导了周围氧空位的形成，从在催化剂表面形成大量的金属-空位界面。在对甲酚的HDO反应中，Ni-MoO3-x催化剂表现出了高活性，仅需150 ℃即可实现产物的完全转化，并且无氧产物选择性高达99.4%。此外，该催化剂在其他木质素衍生氧化物以及木质素油的HDO反应中也展现了良好的活性。

关键字 木质素油；加氢脱氧；Ni/MoO3；空位

分类：主题D 木质素分离、结构、改性及其应用

426

**木质素高效精准分离和定向转化利用**

文甲龙

北京林业大学

木质纤维生物质细胞壁中三大组分（纤维素、半纤维素和木质素）通过共价键和氢键等连接键形成了致密而复杂的细胞壁多层级结构，使得三大组分的温和高效拆解极具挑战。木质素是自然界中唯一大量存在的可再生芳香型碳资源，木质素的高效精准分离决定着木质素分子的准确解析及木质素定向转化利用性能。原本木质素的高效分离和分子结构解析是木质素化学利用的基础，特定结构和反应活性的木质素精准分离是木质素定向转化利用的基础，建立以木质素高值化为核心的生物炼制模式和技术对于发展可持续型低碳发展模式和助力双碳目标的实现具有重要的作用和意义。本报告将首先介绍本课题组在原本木质素高效分离和结构解析领域的最新研究进展。随后，重点介绍基于不同预处理策略和方法的木质素精准分离及细胞壁全组分转化利用模式，阐述木质素结构特点和后续转化利用性能之间的潜在构效关系。总之，基于“木质纤维原本木质素结构解译-木质素组分高效精准拆解分离-拆解分离木质素组分的系统结构表征及精准转化利用”的模式[1-13]对木质素高值化利用和木质纤维素资源高效利用具有重要的指导意义。

参考文献：

[1] T. Y. Chen, J. L. Wen\*, et al., Bioresour. Technol., 2017, 244: 717.

[2] H. M. Wang, J. L. Wen\*, R. C. Sun\* et al., ACS Sustain. Chem. Eng., 2017, 5(12): 11618.

[3] H. M. Wang, J. L. Wen\*, R. C. Sun\*, et al., Energ. Convers. Manage., 2018, 175: 112.

[4] X. J. Shen, J. L. Wen\*, R. C. Sun\*, et al., Green Chem., 2019, 21(2): 275.

[5] X. J. Shen, J. L. Wen\*, et al., ACS Sustain. Chem. Eng., 2020, 8(5): 2130.

[6] H. M. Wang, J. L. Wen\*, R. C. Sun\*, et al., ACS Sustain. Chem. Eng., 2020, 8(4): 1813.

[7] C. Y. Ma, J. L. Wen\*, et al., Chem. Eng. J., 2022, 450: 138315.

[8] L. H. Xu, J. L. Wen\*, et al., Renew. Energ., 2022, 201: 691.

[9] S. C. Sun, J. L. Wen\*, R. C. Sun \*, et al., Green Chem., 2022, 24(15): 5709.

[10] Y. Xu, J. L. Wen\*, et al., Chem. Eng. J., 2023, 462: 142213.

[11] C. Zhang, J. L. Wen\*, et al., Ind. Crop. Prod., 2023, 193: 116204.

[12] C. Y. Ma, J. L. Wen\*, et al., Fuel Process. Technol., 2023, 241: 107591.

[13] Y. Xu, J. L. Wen\*, et al., Bioresour. Technol., 2023, 380: 129090.

关键字 木质素；生物炼制；结构表征；组分分离；生物质转化

分类：主题D 木质素分离、结构、改性及其应用

428

**木质素解聚产物转化制备高密度燃料组分**

张兴华、房振全、诸佳昕、黄文、马隆龙

东南大学

高能量密度喷气燃料对延长飞行器航程具有重要意义。增加燃料分子的碳环数量可以提升燃料密度。本文首先提出了以木质素解聚产物衍生的苯酚和乙酸苄酯为原料合成以全氢芴组分的技术路线。在优选的蒙脱土催化剂上，以苯酚与乙酸苄酯为原料通过烷基化反应实现碳-碳偶联，130oC条件下制备的航油前驱体4-苄基苯酚和2-苄基苯酚的总收率达到82%以上。以水为溶剂，Pd/C为催化剂，180oC的温和条件下即可完成加氢脱氧反应，获得以环己基甲基环己烷和全氢芴为主的烃类组分，其中密度、热值与冰点分别为0.956 g/cm3、40.64MJ/kg、-21.5℃。

为改善高密度燃料的低温流动性能，进一步提出了环戊酮与香草醛类物质的偶联增碳与加氢脱氧技术路线。在乙醇胺类离子液体作用下，环戊酮与香草醛的羟醛缩合反应产物总收率达到96.9%，再经加氢脱氧与碳链重排后，得到收率为73.4%的液体燃料（密度为0.88 g/cm3），其主要组分为环己基环戊基甲烷。由于燃料分子的碳链结构同时中存在五元环和六元环，打破了分子的对称结构，其冰点低于- 60℃，适合作为具有优异低温流动性能的高密度喷气燃料组分。

关键字 木质素，碳碳偶联，高密度燃料，加氢脱氧

分类：主题D 木质素分离、结构、改性及其应用

432

**木质素基碳材料功能催化剂及其应用基础研究**

林绪亮

广东工业大学

木质素具有三维网状苯环结构、来源丰富、含碳量高、官能团丰富可控等特点，是一种理想的碳材料前驱体。采用木质素两亲性衍生物作为有机配体，以Fe、Co、Ni等过渡金属作为活性组分，配位后形成木质素基-金属前驱体，共掺杂原位碳化合成一系列形态结构可调控的功能化氮掺杂木质素基碳材料功能催化剂。通过组分和结构等调控催化剂的形成演变过程、OER/HER催化活性和提高服役寿命1、乙醇偶联制备高级醇的收率和选择性2，进一步通过原位表征和DFT计算明晰其强化作用机制，拓宽木质素碳基功能材料的高值化利用途径。

关键字 木质素，碳基催化剂，电催化，生物质转化

分类：主题D 木质素分离、结构、改性及其应用

435

**木质素基复合材料的强韧化界面设计及功能应用**

姜波、吴文娟、金永灿

南京林业大学

强韧纳米复合材料在生物医学、航空航天和人民生活等方面具有重要的应用价值。然而，聚合物的强度和韧性是一对公认的矛盾，兼具高强和高韧特性的材料设计往往不可避免的互相妥协[1,2]。木质素作为天然的生物质资源，其独特的亲疏水性、纳米尺度的可调节性、分子设计的灵活性以及生物相容性等使其在强韧医学承载材料、可折叠电子设备等领域展现出巨大优势[3]。受生物合成蜘蛛丝中多种非共价键相互作用的启发，文章通过构建多重牺牲键网络（π-π、氢、离子、配位键等），成功制备了一系列具有高强和高韧特性的木质素基纳米复合材料。木质素诱导的分子间强相互作用和良好的界面相容性极大地提高了材料的强度。当材料受到拉伸时，木质素基复合材料的服役和失效涉及一连串的价键断裂（共价键和非共价键）和重整（非共价键的重新形成），有效避免了应力集中，大大提高了材料的韧性。此外，在木质素的存在下，所开发的纳米复合材料还表现出优异的抗紫外性、热稳定性、光管理特性和生物相容性，且木质素的强韧化设计适用于多类材料（膜、纤维和有机水凝胶），使其在柔性和可拉伸电子产品、塑料替代产品和生物医学承载材料等方面表现出巨大的应用前景。

关键字 木质素；复合材料；强韧设计；界面相互作用

分类：主题D 木质素分离、结构、改性及其应用

437

**木质素制备多功能水凝胶材料及应用**

曾宪海1、闫贵花2

1. 厦门大学

2. 河南农业大学

摘要：木质素作为植物界第二大资源的生物质材料，来源甚广且产量巨大，但是被利用的很少。本文以碱法提取的木质素为原料，开发了一种新型的由Fe3+/Sn2+金属离子和木质素分子组成的双自催化体系激发过硫酸根形成自由基，在低温（6 °C）条件下，10 s内能迅速引发乙烯基单体聚合，从而形成具有韧性、导电性、透明性的多功能水凝胶，整个过程不需要额外施加任何能量或刺激。进一步将该双自催化体系拓展到天然木材的功能化应用，通过去除木质素、木质素重置、聚合等过程，可以得到柔性多功能的木材。这个体系为在温和条件下合成多功能水凝胶开辟了一条便捷的途径，可广泛应用于组织工程和可穿戴电子领域。

关键字 关键词：木质素；预处理；水凝胶；应用

分类：主题D 木质素分离、结构、改性及其应用

442

**低共熔溶剂中木质素结构转化机制及高值化利用探索**

洪思、沈晓骏、袁同琦

北京林业大学

木质素作为天然芳香资源，将其转化为高附加值化学品已引起极大关注。低共熔溶剂（DES）由于其制备过程简单、木质素的选择性溶解、低成本和可回收性而广泛应用于木质纤维生物质拆分和木质素制备。首先通过对氯化胆碱/乳酸DES得到的再生木质素和木质素油全面表征，解译木材细胞壁中木质素在DES预处理过程中的迁移及结构转变机制；首次发现在非甲酸低共熔体系中木质素可转化为愈创木基和紫丁香基衍生的二酮单体化合物，同时提出了木质素的降解机制。由于DES预处理后木质素无法从DES体系中全部分离，造成木质素的损失及DES溶剂污染，提出将木质素/DES混合物作为碳前体和氮掺杂物通过溶剂热碳化和活化策略构筑多级孔碳材料。由于木质素DES溶剂热碳化过程中引入氮元素，提高了多孔碳材料的比电容。并且在10000次充放电循环后，多孔碳材料电容保持率仍在95%以上，优于商业活性炭。以上工作不仅解译了木质素在低共熔体系中的结构转化，更为DES中木质素高值化利用提供了一个范例。

关键字 木质素，低共熔溶剂，结构转化机制，多孔碳材料

分类：主题D 木质素分离、结构、改性及其应用

444

**一锅反应将木质素β-O-4片段转化为咪唑吡啶和肉桂腈**

强倩、郭鲁贤

大连化学物理研究所

木质素主要由苯丙单元组成的唯一可大规模获得的可再生生物质资源。目前绝大部分木质素难以高效利用，仅有不到5%的工业木质素被用于生产化学品和材料[1]，如何实现木质素高值化利用一直是生物质转化领域具有挑战性的研究课题。含氮芳香杂环化合物是一类重要的精细化学品，由于其特有的生物活性、低毒性等特点，是众多天然产物和药物分子的基本结构单元。例如：咪唑并[1，2-a]吡啶类化合物是最通用的药物分子模块之一，具有广谱的生物活性[2]；而肉桂腈则是精细化学品的基本合成单元，比如香料等[3]。咪唑吡啶和肉桂腈的高效可持续合成方法学在医药化工领域具有重要科学意义和应用前景。

基于木质素固有的芳环单元和侧链羟基结构特点，本文发展了一种由木质素主要结构片段β-O-4模型化合物与2-氨基吡啶和乙腈反应，通过一锅两步法合成咪唑并[1，2-a]吡啶和肉桂腈衍生物的新路线。在合成咪唑并[1，2-a]吡啶中，基于Pd/C、碘和NaHCO3之间的接力催化作用，实现β-O-4模型分子脱氢、C-O键断裂、卤代、分子内脱水偶联、咪唑吡啶环原位构建的多步反应高度耦合，最终获得目标产物。通过控制实验，时间曲线等推测了反应机理。底物拓展实验高收率获得一系列的咪唑并[1，2-a]吡啶类化合物，表明反应路线的普适性和高效性。这些合成的化合物与临床药物分子如溃疡药佐利米定、催眠药唑吡坦、抗焦虑药阿吡坦等具有完全相同的结构骨架；而在合成肉桂腈中，基于氧化剂的选择性氧化，高效地选择性氧化了γ-OH，再通过逆羟醛缩合得到醛类单体，进而与乙腈化合得到肉桂腈。两条路径都表明了木质素衍生物在N-杂双环药物分子合成中的潜在应用前景。

关键字 木质素 无金属参与 咪唑并吡啶 肉桂腈 一锅法

分类：主题D 木质素分离、结构、改性及其应用

448

**超声波对乙醇提取杨木木素的强化作用研究**

黄福淳、吉兴香、田中建、董航、王胜丹、杨桂花

齐鲁工业大学（山东省科学院）

木素具有抗紫外、抗菌和高碳含量等优点，使其具有很好的应用价值。然而，在植物纤维原料中，木素与纤维素和半纤维素相互交织在一起，形成了天然的抗降解屏障，导致难以实现木素的有效分离。传统制浆废液中提取木素的方法容易破坏木素的结构，因此急需开发既可以保持木素原有结构又能高效提取木素的技术。用乙醇提取木素可以较好的保留木素的原始结构，超声波的空化效应可以有效地促进乙醇提取木素。

本研究对超声波对乙醇提取杨木木素的强化作用进行了研究，结果表明，在没有使用超声波的情况下，木素提取率仅为25%；在使用500 W的超声波协助处理60 min后，木素提取率可达38%。通过红外光谱的分析可以看出，提取的杨木木素结构比较完整。通过测定木素的抗氧化性发现，1.0 mg/mL浓度的木素的自由基清除率可达95%，抗氧化性能非常好。因此，超声波协助乙醇提取杨木木素是一种非常清洁、经济、高效同时可较好保留木素结构的工艺。

关键字 杨木 木素 超声波

分类：主题D 木质素分离、结构、改性及其应用

460

**低共熔溶剂体系中针叶材木质素分离及结构解析**

王旺霞、牛秀雪、杨文静、谷峰

盐城工学院

为了在木质素分离过程中尽可能减少β−O−4的破坏以及阻止C−C结构的生成，课题组前期利用对甲苯磺酸（p-TsOH）/氯化胆碱(ChCl)溶剂体系在低温（≤80℃）短时间（20-40分钟）实现了阔叶材、禾草类原料中木质素的高效得率(≥85%)、高纯度(≥90%)分离，但同时发现同样反应条件下p-TsOH/ ChCl对针叶材木质素的分离效果并不理想。因此，本文通过改变低共熔体系氢键受体的链长、极性及其与木质素间弱相互作用等，研究了松木木质素在不同甲苯磺酸低共熔体系中的溶出规律，优选出适用于松木木质素提取的甲苯磺酸低共熔体系。研究发现选用长链、弱极性、弱相互作用强的氢键受体，有利于松木木质素的分离和提取。当反应条件为80℃、40分钟，松木在对甲苯磺酸（p-TsOH）/苄基三乙基氯化铵（TEBAC）体系中的木质素分离得率为67.6%，相较于p-TsOH/ ChCl体系下45.2%的木质素得率，提高了近50%。这是由于TEBAC相转移催化能力强于ChCl，且其具有与木质素更加接近的极性。同时课题组还设计了一种溢流装置，利用上述溶剂，通过实时调节酸浓、流速等方式，从针叶材中分别获得了高得率、高纯度的半纤维素、木质素以及纤维素组分，为木质纤维素的全组分分离、利用提供了一条有效途径。

关键字 低共熔溶剂 木质素 分离

分类：主题D 木质素分离、结构、改性及其应用

461

**木质素制备含氧化学品**

廖玉河

中国科学院广州能源研究所

生物质是自然界中广泛存在的可再生碳资源，可用于制备液体燃料、高值化学品和材料。高值化利用农林废弃物等木质纤维素类生物质不仅可以变废为宝，还能利用生物质实现CO2减排，助力碳中和。但是，木质纤维素类生物质的三大组分（纤维素、半纤维素和木质素）相互交联，结构复杂，且存在多种不同的化学键，导致了难定向利用生物质各组分，生物质利用率低。当前生物质的利用主要以高值转化半纤维素和纤维素为首要目标，木质素往往以预处理方式脱除或以固体残渣形式存在。这些木质素往往用于混凝土、水煤浆、高分子材料等领域，而在定向转化制取高值化学品领域存在着诸多挑战。

本报告将从生物质的分子结构入手，介绍如何针对不同的化学键开发催化体系，定向断裂化学键，实现木质纤维素类生物质的选择性分离。与此同时，基于分离后木质素的分子结构，开发不同的催化转化策略高效转化制取含氧化学品。此外，还将阐述催化剂在这些转化过程的作用机制。

关键字 木质素；催化；含氧化学品

分类：主题D 木质素分离、结构、改性及其应用

464

**木质素基易回收热固性树脂**

马松琪

江南大学

热固性树脂具有优异的性能而广泛应用于高端涂料、橡胶、胶粘剂、复合材料等领域，但当前主要来源于化石资源同时由于三维交联网络结构很难降解回收或重新再加工利用。近年来，报告人在以木质素及其衍生物为原料制备高性能可回收热固性树脂方面做了大量工作。本报告将聚焦木质素直接改性变成可回收热固性树脂的工作。一方面，对木质素的多羧基化改性，并与其他生物基多元酸和环氧大豆油反应，制备出刚柔并济、可降解的全生物基环氧树脂。另一方面，发展了一种绿色、简便的方法将未改性木质素直接制备成优异热/力学性能的可降解热固性树脂，进一步在体系中引入氢键，实现了重塑回收性能。

关键字 木质素，热固性树脂，可降解，可重塑

分类：主题D 木质素分离、结构、改性及其应用

470

**基于离子液体强化的木质素分离和转化过程**

孙剑、赵婉婷

北京理工大学

离子液体是一类可以溶解或者溶胀生物质高分子的良溶剂，具有氢键结合能力强，静电相互作用可调控等特点。近年来，基于离子液体的生物质分离或者转化的研究成为热点和前沿，相关研究不断地实现了基础和应用的突破，从而正反馈地证实和支撑了离子液体在生物质领域应用的巨大潜力。作为木质纤维素类生物质结构中的主要组分，大量的木质素随着制浆造纸和生物炼制过程被不断地排放，但绝大部分作为低品位的副产物被直接烧掉，造成了极大的资源浪费，同时也降低了生物质分离过程的经济性。因此，以木质素的分离和转化为主题的基础和应用研究迅速得到全世界科研人员的关注。

本工作围绕当前酸碱分离木质素存在污染重、降解副产物多等问题，重点介绍了如何以离子液体为过程强化介质来进行木质素的分离和转化过程研发。基于“木质素优先策略”，将直接溶解纤维素的生物质分离路线转换为间接溶余纤维素的方法，分析离子液体对于木质素的主客体相互作用，理解离子液体对于直接溶解分离木质素的过程强化机制，旨在显著地降低离子液体的用量，并拓宽可用于分离木质素的离子液体种类。进一步，采用离子液体作为多功能介质，发挥其在溶解[1]和催化木质素转化方面的不同作用，实现了在无卤素条件下的木质素脱甲基化绿色过程[2]，获取的改性木质素可以用于水体污染物的高效吸附和解吸[3]。相关研究为系统地认识和理解离子液体微环境作用于高分子客体底物方面提供了案例。

关键字 离子液体，木质素，分离，转化，过程强化

分类：主题D 木质素分离、结构、改性及其应用

479

**改性木质素基阻燃剂制备及聚氨酯材料中的应用研究**

马磊、刘振、赵绘婷、谢梅竹、肖进彬

河南省科学院河南省高新技术实业有限公司

木质素中含有羟基（醇羟基和酚羟基）、羰基、甲氧基、羧基、磺酸基等活性基团，但是木质素反应活性较低，单纯以木质素与其他物质复配制备阻燃剂，其在基体中不易分散均匀、相容性差，可通过改性改善木质素在材料中的分散性和界面相互作用问题，同时提高阻燃性。含磷化合物9,10-二氢-9-氧杂-10-磷菲-10-氧化物（DOPO）及其衍生物合成的阻燃剂具有高效、无卤、无烟、无毒、不迁移、阻燃性能持久等特点，在燃烧过程中可通过凝聚相和气相阻燃。本文通过超声活化增加木质素的亲水性基团，活化后的木质素与DOPO、三烯丙基三聚氰酸酯在一定条件下反应制备含N、P的改性木质素基阻燃剂，并应用于硬质聚氨酯的阻燃改性中，可起到良好的阻燃效果。

关键字 木质素；DOPO；木质素基阻燃剂

分类：主题D 木质素分离、结构、改性及其应用

489

**木质素磺酸盐填充的多功能导电有机水凝胶及其在极冷环境下的**可穿戴传感器应用

王营超1,2、王强1、吉兴香1、田中建1

1. 齐鲁工业大学

2. 天津科技大学

近年来，多功能导电水凝胶因其在柔性可穿戴传感器中的潜在应用而受到广泛关注。然而，要制造出同时具有可拉伸、柔韧、粘附、防冻、自愈、抗紫外和透明等多种特性的导电水凝胶，仍然是一个巨大的挑战。本文在常温下将木质素磺酸盐（LS）和氯化锂（LiCl）引入到含有乙二醇/水（EG/H2O）二元溶剂的聚乙烯醇-硼砂（PVA-B）基质中，快速合成了集所有性能于一身的新型离子导电有机水凝胶。该有机水凝胶是在PVA-B、LS、EG和水之间的氢键相互作用形成交联网络上构建的。动态可逆的二二醇-硼砂配合物不断调节PVA-B/LS/LiCl有机水凝胶的多孔网络结构，从而使其具有快速自修复行为。同时，LS粒子作为功能性填料，不仅增强了有机水凝胶的力学性能，还使其表现出高达24.6 KPa的粘附力以及100%紫外过滤能力。此外，LiCl的存在为PVA-B/LS/LiCl有机水凝胶提供了充足的离子电导率，同时进一步提高了其抗拉强度和断裂伸长率。更重要的是，LiCl和EG的协同作用有效地抑制了水在0 ℃以下冻结，从而使PVA-B/LS/LiCl有机水凝胶具有突出的低温耐冻性。此外，该有机水凝胶也展现出优异的机电传输性能和高拉伸灵敏度，在0~100%应变下的测量因子为2.36。基于这些优点，PVA-B/LS/LiCl有机水凝胶被组装成可穿戴传感器，用于在极冷环境中检测人体的大而细微的运动。此外，它还可以作为生物电极来监测人体的电生理信号，如肌电图、心电图。PVA-B/LS/LiCl有机水凝胶的整体优势将为抗冻柔性可穿戴传感器在实际应用中开辟一个新的途径。

关键字 导电水凝胶，木质素磺酸盐，可穿戴传感器，抗冻，LiCl

分类：主题D 木质素分离、结构、改性及其应用

499

**木质素芳环和侧链综合利用制备重要化学品**

刘会贞

中国科学院化学研究所

木质素是自然界中存储量最大的无定形三维芳香聚合物碳资源，每年造纸行业也会产生大量的木质素，但是目前木质素的利用率不足10%，实现木质素的高值化利用具有重要意义。木质素含有芳环和侧链基团，通过设计一系列的新型反应路线，实现木质素中芳环和侧链的综合利用具有重要意义，

我们提出了一条木质素中甲氧基选择性利用的新思路，实现了以真实木质素为原料制备重要化学品乙酸1, 2，剩余木质素转化为多酚木质素，实现了综合利用。耦合甲基转移和解聚反应，通过构筑新型反应体系，实现了木质素转化制备4-乙基甲苯，系统研究了不同条件对反应的影响规律。直接用未处理的杨木木质纤维素为原料时，4-乙基甲苯仍可达到5.2 wt%。在反应过程中，木质素中的甲氧基官能团首先与LiI反应生成CH3I和木质素酚锂盐，然后原位生成的H2与木质素酚锂盐反应生成无甲氧基的木质素，其解聚和甲基化生成目标产物4-乙基甲苯3。

提出了一种有机胺官能团化促进碳碳C-C键断裂的新策略。以N, N-二甲基甲酰胺-水（DMF-H2O）为溶剂，实现了草类木质素中含量丰富的4-羟基肉桂酸与二甲胺（DMA）反应同时制备苯酚和N, N-二甲基乙胺。该反应体系具有良好的底物普适性，当以其它含C=C双键的木质素单体乃至原生草类木质素为底物时，都可以较高收率地得到酚类和N, N-二甲基乙胺4。

参考文献：

[1] Q. Mei; H. Liu; X, Shen; Q. Meng; H. Liu,; J. Xiang; B. Han, Angew. Chem. Int. Ed., 2017, 129, 14868-14872.

[2] Q. Mei; Y. Yang; H. Liu; S. Li; H. Liu; B. Han, Sci. Adv. 2018, 4, eaaq0266.

[3] X. Shen; Q. Meng; Q. Mei; J. Xiang; H. Liu; B. Han, Green Chem. 2020, 22, 2191-2196.

[4] Y. Xin; X. Shen; M. Dong; X. Cheng; S. Liu; J. Yang; Z. Wang; H. Liu; B. Han, Chem. Sci., 2021, 12, 15110-15115.

分类：主题D 木质素分离、结构、改性及其应用

499

**木质纤维素纳米纤丝的解离、改性和重组**

姜言\*

广西大学轻工与食品工程学院，南宁市西乡塘区 530004

\*[[5]](#footnote-4) jiangyan@gxu.edu.cn

由木质纤维素纳米纤丝(LCNFs)自组装构筑的木质纤维素纳米纸(LNP)是一种新兴的绿色结构材料，可应用于多种领域。木素是LNP的重要功能性组分，然而其对LCNFs间界面氢键行为产生负面影响，导致LNP力学性能较差。本研究采用温和的臭氧氧化策略对木素大分子进行原位修饰，同时不显著降解LCNFs中碳水化合物组分(即纤维素、半纤维素)。分子动力学模拟研究表明，该策略可显著提高LNP组装和变形过程中的界面氢键能。经木质素原位修饰，LNP拉伸强度从83 MPa提升至140 MPa，韧性从1.9 J/m3提升至7.1 J/m3，优于传统纤维素纳米纸。经木质素原位修饰，LNP保留其原有的良好水稳定性和热稳定性，并展现出优异的光学性能，是适用于多种领域（如柔性电子）的多功能结构材料。此外，LNP的生产成本约为传统纤维素纳米纸的一半，在原材料、水和能源等方面的投入明显降低。因此，该研究通过生物质大分子结构的定向调控，实现了高性能木质纤维素纳米结构材料的低成本、绿色制备。

Graphic for manuscript

参考文献：

Jiang S., Liu X., Wang Z., Zhou L., Meng Z., Wang X., Chen G., Wang S., Jiang Y.\*. ACS Sustainable Chemistry & Engineering, 2023, 11(20): 7705-7718.

分类：主题 E 其他生物质资源的开发和利用

5

**聚天然多酚抗氧化纳米材料的设计与应用**

王天佑、顾志鹏、李乙文

四川大学高分子科学与工程学院

天然多酚在自然界中广泛存在且在动物、植物、细菌及真菌各个生态系统中起着至关重要的作用，尤其是维持氧化平衡。然而天然多酚大多数为小分子化合物且存在着安全性、稳定性上的风险，因此通过合理的材料化学设计增强其应用前景是十分必要的。基于此，我们根据多酚自身的物理化学特性，设计了化学氧化法、酶促法、力化学聚合法等策略并制备了一系列聚多酚纳米材料，实现天然多酚功能的传递与放大，并通过简易的参数调节实现对产物的调控。这些方法具有优异的构筑基元普适性，易于操作的可控性和良好的调节能力。所构筑的聚多酚纳米材料具有良好的生物安全性与稳定，此外也展现了优异的体外自由基清除能力，可有效保护细胞免受氧化应激的侵扰，同时也在加速创口愈合、急性肾损伤、干眼症治疗等经典抗氧化治疗模型中得到了验证。这一工作也提出了一类天然生物质作为结构和功能基元应用于高性能材料的设计与构筑的策略。

关键字 天然多酚，抗氧化，构效关系，功能材料

分类：主题 E 其他生物质资源的开发和利用

6

**高生物质含量CS-PBAT复合材料结构和性能的探究**

翁方青1、陈启星2、姜思珂3、易亚洲3

1. 湖北第二师范学院

2. 华中师范大学第一附属中学

3. 华中师范大学

目前，石油资源稀缺，石油基材料的大量使用不仅会加剧能源负担，还会由于难以降解等问题造成环境压力，在当前碳达峰与碳中和背景下，生物质原材料、可生物降解塑料的充分有效利用，既可以解决能源危机又可以减少环境污染等问题，对实现绿色低碳具有重要意义 [1]。本文以玉米淀粉（CS）为填料，可生物降解的PBAT聚酯为基体，聚氨酯预聚体作为界面增容剂，制备了界面相容性良好的高生物质含量CS-PBAT复合材料。利用红外光谱、扫描电子显微镜、电子万能试验机和热失重分析仪分别对所得复合材料的结构、微观结构以及力学性能和热稳定性等进行表征分析。结果表明随着玉米淀粉含量的增加，CS-PBAT复合材料的抗拉强度和弹性模量呈现出递增的趋势，由于聚氨酯预聚体作为增容剂，复合材料的界面相容性也比未添加增容剂的材料效果更好[2]。

关键字 淀粉，PBAT，高含量，复合材料

分类：主题 E 其他生物质资源的开发和利用

12

**糠醛高选择性催化加氢产物的调控及其催化剂的设计与合成**

朱丽华

江西理工大学

糠醛催化加氢可合成多种高附加值产物，如糠醇、四氢糠醇、2-甲基呋喃等，因此本文制备了具有不同结构的纳米催化剂用于糠醛选择性加氢反应。①构筑具有“小岛状贵金属纳米团簇负载于过渡金属/过渡金属氢氧化物纳米颗粒”新型纳米结构的催化剂（Pd/NiCo/Ni(OH)2-Co(OH)2/C），表现出优异的催化性能（糠醛转化率＞99.9%，糠醇选择性-97.8%）；②制备具有上述结构的PtCu/Co/Co(OH)2/C催化剂在180 °C焙烧2小时，混合气（10%H2/N2）流速为20 mL/min，焙烧后的PtCuCo/C-180催化剂对糠醛转化率为94.9%，2-甲基呋喃选择性为90.3%；③硼氢化钠还原法制备的PdNiCo/N-CNTs催化剂在糠醛选择性加氢反应中表现出较高的糠醛转化率（100%）和四氢糠醇选择性（97.1%）。采用各种表征技术（Figure 1-3）阐明了不同纳米结构催化剂催化加氢的机理（如Figure 4, 5）[1-7]。

关键字 多元金属纳米催化剂；催化加氢；产物调控

分类：主题 E 其他生物质资源的开发和利用

20

**天然多酚抗菌材料的设计与应用**

杨磊、李昊天、曹欢、王天佑、顾志鹏、李乙文

四川大学

天然多酚是一种植物次生代谢产物，具有抗菌、抗炎、抗氧化、免疫调节、神经保护和心脏保护功能等诸多优异的生物功能，因而被广泛应用于生物医学领域。其中，针对天然多酚抗菌功能的研究大多局限于单宁酸，茶多酚和石榴皮多酚等大分子多酚或多酚提取物，且应用形式多为分子尺度，使之容易被生物体代谢且稳定性和抗菌效果较差。为了解决这一难题，本团队从多酚材料化学的角度出发，借助酶促氧化聚合，酚醛缩合聚合、动态共价化学和金属配位化学等聚合方法和化学工具进行天然多酚抗菌材料的设计与制备。所制备的抗菌材料具有多个功能特性，包括：基底通用黏附性、细菌群体感应抑制、抗生物被膜、pH-响应性和按需释放抗生素行为，以及优异的体外和体内抗菌活性。这项工作逐步通过（1）天然多酚单体的筛选；（2）天然多酚抗菌材料的设计；（3）抗菌效果评估和应用形式拓展这三个阶段，极大程度地丰富和完善了天然多酚抗菌材料的原料分子库，材料设计策略和制备方法，并有望为制备全天然分子构建块集成的高性能抗菌材料提供可靠的理论指导和工具平台。

关键字 天然多酚，抗菌材料，动态化学，酚醛缩合，多维材料

分类：主题 E 其他生物质资源的开发和利用

30

**简单、环保、全生物质衍生的塑料食品包装替代品**

丁园园、刘晨光、池哲

中国海洋大学

包装塑料约占全球塑料消费总量的30%，其中大约60%的塑料包装用于食品和饮料的包装，这使其成为塑料污染的最大来源[1]。尽管聚乳酸-聚己二酸对苯二甲酸丁二醇酯（PLA-PBAT）复合材料的生物基塑料包装替代品已在市场上上市，但其完全降解依赖于适当的垃圾分类，回收和堆肥。本研究开展了一种包含普鲁兰多糖-纳米纤维素和/或疏水木质素的全生物质衍生的食品包装材料的研究。首先以可回收的低共熔溶剂处理玉米秸秆获得纳米纤维素（NC）和疏水性木质素（HBL）。进一步，通过简单的高压均质将NC分散在普鲁兰多糖中，从而获得抗拉强度高达76.6 ± 1.9 Mpa的普鲁兰多糖-纳米纤维素复合膜（PNC）。然而，因PNC的耐水性不足，其只能作为食品内包装使用。通过将PNC与牛皮纸包装相结合，可以实现干粉、饼干和油包装的完整性能。值得注意的是，通过简单地将2层HBL-NC薄膜和1层PNC薄膜（LNC-PNC-LNC）热压制成的三明治状复合薄膜可以表现出所需的机械强度和耐水性。此外，通过调整复合薄膜中LNC和PNC的层数，可以便捷地制造出生物塑料保鲜袋、购物袋、杯子和吸管（Figure 1）。这些包装均无生物毒性，能够用于冷冻保藏肉类、装载物品和饮用饮料。这些包装的制造工艺简单环保，并可在自然界中快速生物降解，而无需依赖特殊的堆肥或回收，显示了它们具可持续发展的特性。

关键字 生物基塑料；普鲁兰多糖；纳米纤维素；疏水性木质素；生物纳米复合膜

分类：主题 E 其他生物质资源的开发和利用

34

**桉木纤维中半纤维素降解及糖醛酸 衍变的规律研究**

付时雨、罗敏

华南理工大学

半纤维素是植物纤维资源的重要组分，在纤维中起重要作用。在制浆造纸过程中，纸浆纤维中保留一定的半纤维素能够减少打浆时的动力消耗、提高纸张的成纸性能。半纤维素的降解降解对于控制制浆蒸煮工艺、提高纸浆质量十分重要。本文研究了桉木纤维在制浆过程中半纤维素的降解规律，分离出水溶性和不溶性的半纤维素，阐明他们的结构变化与蒸煮条件的关系，以及侧链基团4-O-甲基-葡萄糖醛酸(MeGlcA)的衍变和分布规律，及其对纸张性能的影响，为制浆技术的改进提供一定的理论依据。

关键字 桉木，半纤维素，糖醛酸，印迹检测

分类：主题 E 其他生物质资源的开发和利用

42

**丝素蛋白基生物医用纤维与支架材料**

姚响、蔡国龙、祝天浩、胥学谦、张耀鹏

纤维材料改性国家重点实验室，东华大学材料科学与工程学院

动物丝中的丝素蛋白来源广泛，具有优秀的力学性能、生物相容性和可生物降解等固有优势特征，因而成为了一种重要的生物医用材料被加以研究和利用。近年来，本团队在从蚕茧中提取和纯化丝素蛋白的基础上，进一步通过发展独特的材料加工成型构筑策略，获得了新型的丝素蛋白纤维、电活性界面、多重仿生支架等功能材料。所述一维纤维到三维支架相关的丝素蛋白材料在生物医学领域都显示出巨大的应用潜力[1]。

核心进展如下：（1）基于微流控仿生纺丝及纳米纤维增强技术构建了低光损耗、高强度、可编织的全生物基可降解丝素蛋白光纤，可在光动力治疗深部组织肿瘤中发挥重要作用[2-3]；（2）借助图案化接收板和高浓度丝素蛋白水溶液制备了兼具大孔径和较优力学性能的静电纺仿生支架。该支架中细胞渗透效果好、活力高、增殖强、迁移快。相关支架在神经和皮肤等软组织修复领域体现了较好应用前景，同时为静电纺支架生物活性的有效提升提供了有益借鉴[4-5]；（3）通过合理调控利用丝素蛋白构象转变进程，一步法实现导电高分子的均匀、牢固嵌入改性，有效解决了丝素蛋白常规导电改性策略存在稳定性差、透光度低等缺点。构筑的电活性界面具有优异的透光性、导电性，以及优异的细胞行为实时观察效果和有效的电刺激-细胞成神经分化响应。相关技术在柔性神经电极构筑和电刺激-细胞响应实时观察领域具有良好应用前景[6-7]；（4）结合温和酶促交联、冷冻干燥、纳米纤维增强技术，进一步引入新颖动态仿生力学刺激等策略有效调和了支架高孔径和孔隙率与优异力学性能间的矛盾，显著提升了支架及微环境的多重仿生程度。构筑的仿生支架同时兼具高孔径、高孔隙率和优异的力学传导性能，仿生支架结合动态力学刺激显著促进了体外组织工程软骨的构建和体内软骨缺损的修复[8]。

参考文献：

[1] Yao X，Zou SZ, Fan SN, Niu QQ, Zhang YP\*. Mater. Today Bio 2022, 16: 100381.

[2] Lu L, Fan SN, Geng LH, Lin JY, Yao X\*, Zhang YP\*. Adv. Mater. Technol. 2021, 6: 2100124.

[3] Lu L, Fan SN\*, Geng LH, Yao X, Zhang YP\*. Chem. Eng. J. 2021, 405: 126793.

[4] Zou SZ, Wang XR, Fan SN, Yao X\*, Zhang YP, Shao HL. J Mater. Chem. B 2021, 9: 5514.

[5] Zou SZ#, Yao X#, Shao HL, Reis RL, Kundu SC, Zhang YP\*. Acta Biomater. 2022, 153: 68.

[6] Zhuang A, Huang XY, Fan SN, Yao X\*, Zhu B, Zhang YP\*. ACS Appl. Mater. Inter. 2022, 14: 123.

[7] Hu ZA, Niu QQ, Hsiao BS, Yao X\*，Zhang YP\*. Mater. Horiz. 2023, 10: 808.

[8] Gu MJ, Fan SN, Zhou GD, Ma K, Yao X\*, Zhang YP\*. Compos. Part B-Eng. 2022, 235: 109764.

关键字 丝素蛋白、可降解光纤、电活性界面、仿生支架、细胞功能调控、组织修复

分类：主题 E 其他生物质资源的开发和利用

50

**甲壳素基生物医用材料**

段博、林兴焕、张蓉蓉、杨伊文、黄林

武汉大学

甲壳素是自然界中储量仅次于纤维素的天然高分子, 具有优良的生物相容性及体内可降解性，是制备生物医用材料的理想原料。而甲壳素分子链间相互作用很强，为甲壳素材料的加工以及制备造成了一定困难。我们利用碱/尿素低温溶解体系对甲壳素进行分子级溶解，提出刚性甲壳素分子链“自下而上”平行组装形成纳米纤维的新机制，建立了甲壳素材料纳米纤维拓扑结构构筑的新策略，构建了原位自组装纳米纤维介导的甲壳素3D打印体系；提出利用多种物理交联结构调控甲壳素分子链自聚集过程的策略，同时增强增韧甲壳素水凝胶，提高分子链活动能力，初步实现了甲壳素基材料的多层级结构构筑。基于以上策略，我们成功构建了甲壳素基3D打印水凝胶、取向膜、神经导管等材料，能有效促进骨缺损及神经组织再生，加速创口愈合。

关键字 甲壳素，生物医用，自下而上，多层级结构

分类：主题 E 其他生物质资源的开发和利用

52

**用于调制多色发光的超分子组装体**

田梦笛

昆明理工大学

利用非共价相互作用构建超分子组装体是超分子研究的热点之一，通过氢键作用、大环封装相互作用[1]、金属配位相互作用等方式形成的超分子组装体已广泛应用于发光材料、能量转移、分子识别[2]、和信息安全等领域。因此构建了四苯基乙烯吡啶(TPE-Py)、葫芦脲[8](CB[8])和磺丁基-β-环糊精(SBE-βCD)的三元超分子组装体。葫芦脲可通过主体-客体相互作用诱导分子二聚化[3]、分子折叠和分子异构化[4]，从而得到明显的发光颜色变化。带正电的客体虽然已经被葫芦脲包封但仍可以通过静电相互作用与带负电的大环相互作用，导致荧光强度的增强和形态的改变。由于CB[8]的空腔和与带正电荷的四苯基吡啶(TPE-Py)的强结合能力，二者通过主-客体相互作用形成了1:2的化学计量比超分子组装，结合常数为2.95×1011 M−2，荧光变色位移约为35nm。进一步与带负电荷的SBE-βCD组装，通过静电相互作用形成纳米片，荧光增强约20倍。结果表明该组装体可以控制纳米粒子到纳米薄片的拓扑形貌，并调控其多色发光。

关键字 环糊精，超分子组装

分类：主题 E 其他生物质资源的开发和利用

55

**Cu2O和Au NPs修饰的木质催化剂在可见光驱动下降解废水中有机污染物的研究**

余源元、闵斗勇

广西大学-轻工与食品工程学院

      为了减少水生环境中的污染物，利用光能的光催化降解技术是有利的策略。Cu2O具有无毒、可见光下被激发的特点，但由于效率低以及难回收等问题，不适用于实际应用。因此，本研究以三维多孔的天然木材作为Au NPs和Cu2O的还原剂和稳定剂，通过原位还原和水热处理下获得了Cu2O-Au NPs-wood。该催化剂在20 min内完全降解了甲基橙（MO，0.169 min-1）和四环素（TC，0.122 min-1），具有优异的催化活性。主要是Au NPs介导了光生电子转移，增强了可见光的吸收。并且由于木材的多孔结构和稳定性，使得Cu2O-Au NPs-wood在四次回用后，MO的降解效率仍能达80%。此外，通过液相色谱-质谱法（LC-MS）分析了污染物的产物并提出了可能的降解途径，通过自由基捕获实验及电子自旋共振（ESR）发现了超氧自由基（•O2-）和空穴（h+）的存在，然后提出了Cu2O-Au NPs-wood的光催化降解机制。因此，通过绿色合成Cu2O-Au NPs-wood是一种可行且有潜力的处理废水的催化剂。此外，木材作为原料为这项工作提供了可持续的特点。

关键字 木质催化剂；异质结；废水降解

分类：主题 E 其他生物质资源的开发和利用

61

**从牛粪中提取纳米颗粒作为皮克林乳化剂用于相变微胶囊的制备**

丁羽高1、张振1、李营战2、张哲1、方雄1

1. 华南先进光电子研究院

2. 浙江理工大学

随着养殖业的发展，牛的养殖量已超过15亿头，每年大约产生45亿吨牛粪，牛粪的处理成为新的难题。牛的消化系统就是一座天然的加工厂，通过咀嚼、反刍、肠胃消化和微生物反应，提供了类似于机械搅拌、化学反应、生物降解等途径。自上而下制备的纳米高分子材料也是如此，存在着能耗高、化学污染和工艺复杂等缺点，阻碍合成纳米材料的发展与应用。本研究在牛粪中提取了牛粪纳米颗粒（CDNP）,其表现出优异的皮克林乳化性能，具有长期的乳液稳定性、普适性、以及优异的再分散性。将CDNP稳定的相变材料皮克林乳液作为模板，通过三聚氰胺和甲醛原位聚合形成微胶囊[1,2]，得到相变材料微胶囊，不仅解决了相变材料泄露的问题，而且MF壳层提供了自熄灭性能提升了使用的安全性。通过测试，该相变材料微胶囊表现出优异的热存储能力（ΔH = 214.3 J/g），经过200个冷热循环后保持率为94.68%，在储热蓄能、电池热管理和节能建筑中有着非常可观的应用前景。

关键字 牛粪；相变材料微胶囊；皮克林乳液

分类：主题 E 其他生物质资源的开发和利用

65

**基于好氧发酵的生物化学机械法制浆新技术研究**

沈葵忠1、周虎毅1、吴珽1,2,3,4、梁龙1,2,3,4、房桂干1,2,3,4

1. 中国林业科学研究院林产化学工业研究所

2. 江苏省生物质能源与材料重点实验室

3. 国家林业和草原局林产化学工程重点实验室

4. 林木生物质低碳高效利用国家工程研究中心

随着纸浆模塑行业发展、造纸原料短缺与双碳政策的实施，开发一种新型绿色生物化机浆工艺来应对这些挑战迫在眉睫。稻草秸秆作为国内最广泛的农业废弃物，年产量约8亿吨，是一种天然可再生的纤维原料，可以用来代替木材用于制浆造纸工业。论文采用高温好氧发酵预处理、碱性过氧化氢浸渍和两段机械精制相结合的新型生物化学机械制浆工艺，由稻草秸秆制成高品质、高得率、高强度纸浆。首先，好氧发酵通过微生物对木质纤维素的分解，松动和疏通稻草纤维结构和孔道，使碳水化合物与木质素之间的连接键松动，实现稻草秸秆的生物软化；随后在NaOH和H2O2的协同作用下进一步充分润胀和化学软化稻草纤维，在高温(最高65~70℃)好氧发酵预处理的基础上进一步提高盘磨机解离效率，发酵复合菌株组成为：2 株 Geobocllus (JG-1-4 and B), 1 株Parageobacillus (NY-44)和4株 Thermos (80-4, 80-31, 80-61,E)。提出了新型生物化学机械制浆Bio-CMP工艺（3d好氧发酵+4%碱性过氧化氢）（图1），其优势特征参数如下：生物处理时间由传统2周以上缩短至3天，能耗降低65%，纸得率为76%，且纸浆具有良好的理化和强度性能（@270mL CSF）：纸浆WRV提高27%，抗张（12.11N·m/g提高至25.33N·m/g）、撕裂（4.22mN·m2/g提高至4.24mN·m2/g）和耐破（0.60kPa·m2/g提高至0.97kPa·m2/g），与对照样比较分别提高109%、47%和61%以上。因此该新型Bio-CMP技术显示了良好的节能和提高浆料品质的性能，有望实现产业化应用。

关键字 好氧发酵；生物制浆，机械制浆，碱性过氧化氢，农业秸秆，节能

分类：主题 E 其他生物质资源的开发和利用

74

**晶面导向甲壳素纳米纤维片层化机制及**

**理化结构调控**

尤俊、黄婷、陈稀智、朱斌

湖北大学 材料科学与工程学院

我们前期工作中设计并定义了甲壳素的“准溶剂”（DMSO/KOH），通过选择性破坏纳米纤维间的强相互作用，削弱内聚力，在避免分子级溶解的前提下促使紧密堆积的纳米纤维部分预解离，从而大幅度降低剥离能耗，突破甲壳素纳米纤维的工业化制备瓶颈。在后续工作中，基于该“准溶剂”体系，我们进一步提出“串联分子插层”策略来宏量制备甲壳素亚纳米带：“准溶剂”首先插层进入甲壳素链片间的晶面，在增大层间距的同时活化表面羟基。随后，通过酯化反应引入较大尺寸的极性基团来进一步削弱层状结构的层间相互作用，从而实现对甲壳素晶体的高效剥离得到单分子层亚纳米带（ChNRs）。接枝基团的化学结构对实现“串联分子插层”策略至关重要，必须满足以下三条设计标准：（1）较大的分子尺寸，能够最大程度的削弱甲壳素链片间的相互作用；（2）含有可电离基团，能够提供足够的静电斥力作为自剥离的驱动力并提高亚纳米带的胶体稳定性；（3）合适的极性，能够插层进入链片间的晶面并确保改性后的产物与“准溶剂”有较好的亲和力。经过筛选，邻苯二甲酸酐，联苯二甲酸酐和辛基琥珀酸酐同时满足上述三个条件，修饰后能够实现甲壳素亚纳米带的自剥离，产率均高于90%。最近，我们进一步明确了准溶剂的插层机制，发现碱金属离子与甲壳素结构单元之间存在化学计量关系。通过调控碱金属离子种类，以及它与甲壳素的摩尔比能够控制纳米带的厚度。此外，适度的超声处理也能够替代酸酐改性促使ChNRs的液相剥离。由于缺乏静电斥力，剥离得到的亚纳米带迅速自组装形成有机凝胶，为甲壳素气/水凝胶材料的构筑提供了新思路。

关键字 甲壳素；亚纳米带；准溶剂；液相剥离；插层

分类：主题 E 其他生物质资源的开发和利用

95

**生物基微纳米材料的构建及其在催化领域的应用**

裴响林、张玲禹、刘卓越、龚维

贵州师范大学

      如今，随着石化资源的枯竭和“双碳”战略目标的提出，可持续资源的开发利用变得越来越紧迫。纤维素、甲壳素、壳聚糖等可再生天然高分子，广泛存在于自然界。它们具有众多的功能基团、多层级的孔结构，以及优良的生物相容性、生物可降解性，是构建功能材料的理想原材料。本课题组利用上述生物质资源作为载体构建了系列生物基纳米金属催化剂。生物质上丰富的特征官能团、微/纳多孔结构及相对优异的热/化学稳定性，对制备高分散纳米金属（团簇、单原子等）起重要作用。所得负载催化剂用于催化氢化、氧化、偶联、环加成等反应，其显示出优异的催化活性、底物适用性和循环稳定性；同时我们对相关催化机制也进行了探究。

关键字 生物质；生物基金属催化剂；纳米催化

分类：主题 E 其他生物质资源的开发和利用

103

**具有高吸收、低反射特性的生物基双层吸声气凝胶的制备与研究**

贺丽珽、李浩

河北工业大学

为了取代传统多以石油化学品为基础制备的吸声材料，基于天然纤维及纤维增强的复合材料开始作为汽车、铁路、建筑和航空航天工业中各种工程应用的前瞻性材料。木棉纤维是一种密度较小，能够在低频下振动，具有良好的声学阻尼性能的天然纤维，具有制备轻量化低频吸声材料的潜力。本项目介绍了一种通过使用木棉纤维和海藻酸钠作为天然材料吸声器，以聚二甲基硅氧烷为阻尼增强材料，实现可持续和环保材料替代传统合成吸声器的方法。将木棉纤维与海藻酸钠交联制备凝胶网络，增加声波传输路径，经冻干后涂覆聚二甲基硅氧烷制备声波阻尼层以减少声波透过，再在其基础上通过逐层组装获得吸收层交联凝胶网络，冷冻干燥获得双层材料。该双层材料吸收层使声波进入，实现声波衰减，阻尼层反射声波，减少透过，通过“吸收-反射-重吸收”机制使材料实现高低收，低反射特性，该生物基气凝胶对于实现水下、航空军事声学隐身设备等应用领域具有潜力。

关键字 木棉纤维；双层材料；吸声；低反射

分类：主题 E 其他生物质资源的开发和利用

107

**长链酸酐衍生化半纤维素表面自组装疏水纸张涂料**

邹永盛、项舟洋

华南理工大学

在纸张的生产过程中，涂布是给纸张提供特殊表面性能的关键步骤，但是目前的涂 料大多为石油基化合物，不仅对环境造成污染，而且给废纸回用造成了一定的困难。半 纤维素作为一种自然界中储量丰富的天然高分子，具有代替石油基高分子的巨大潜能。 本研究在碱性条件下使用不同摩尔比的十二烯基琥珀酸酐（DDSA）/半纤维素，通过酯 化改性在半纤维素分子链上引入疏水的长碳链。将衍生化的半纤维素通过喷涂法附着于 纸张表面，半纤维素在纸张表面发生自组装，亲水基团与纤维接触，疏水基团朝向纸面 外，实现纸张表面疏水性能的提升。对涂布纸张进行抗张能力、耐破度、透气度以及表 面水接触角测试。结果发现：长链酸酐改性半纤维素涂料使得纸张的疏水性能得到提升， 水接触角最高达到 105°。同时，该涂料对纸张的力学性能也有一定的提升，其中，摩尔 比为 0.2 的改性涂料涂布的纸张较未涂布的纸张的抗张性能提升了 30%，耐破度提升了 53%，透气度则相对下降。

关键字 半纤维素；纸张涂料；自组装；疏水；长链酸酐

分类：主题 E 其他生物质资源的开发和利用

117

**纳米羟基磷灰石增强甲壳素复合螺钉的性能研究**

王成龙1,2、王贺贺2、彭娜1、常春雨2

1. 武汉科技大学化学与化工学院，武汉430081

2. 武汉大学化学与分子科学学院，武汉430072

　　由于人体发生骨损伤后的骨修复过程中愈合部位易受到外界的物理刺激进而发生二次损伤，所以开发有效的骨折内固定材料具有重要意义。甲壳素基水凝胶材料兼具良好的生物相容性和可降解性，但作为骨植入材料仍然存在力学性能不足的缺点。作为自然骨中主要的无机成分，羟基磷灰石拥有轻质高强的特点外还具有良好的骨传导性和诱导性。本工作采用共混的方式将甲壳素和纳米羟基磷灰石溶解在碱/尿素体溶液体系中，并使用环氧氯丙烷和溶剂置换的方法构建物理/化学双交联模式的甲壳素/纳米羟基磷灰石复合水凝胶，干燥后的水凝胶经过车削加工后制备具有骨修复功能的界面螺钉。使用傅里叶红外变换光谱、扫描电子显微镜和万能材料试验机等对复合螺钉的特征结构和力学性能进行了表征。结果表明随着纳米羟基磷灰石的引入，甲壳素三维网络结构更加致密，复合螺钉的弯曲强度发生明显的提高（> 120%），浸泡在PBS缓冲溶液中的轴向溶胀率也有所降低（47%到16%）。本工作利用无机材料纳米羟基磷灰石来增强甲壳素螺钉，显著改善了甲壳素材料的力学性能与溶胀程度，有望成为生物体骨修复内固定材料的有效代替物之一。

关键字 甲壳素，羟基磷灰石，力学性能，固定螺钉

分类：主题 E 其他生物质资源的开发和利用

118

**生物质基非均相材料开发及利用**

白龙、宦思琪、刘守新

东北林业大学

生物质是天然可再生高分子材料，将其可控解构成纳米聚集体为高性能生物质基材料的设计、合成及功能开发提供了新方法。生物质基纳米纤维已被广泛地用于制造一维纤维、二维薄膜、及三维水凝胶等材料[1]。然而，生物质固有的复杂组分、构效使其与水在多尺度尤其是分子级产生氢键结合，影响生物质的开发与利用。从“绿色转化”角度，如何将水与生物质的超分子效应高效运用于生物质转化并实现高附加值利用是科学界面临的重要挑战和科学难题。基于此，本研究围绕“非均相限域界面构效设计促进生物质绿色转化”这一关键科学问题，首先探究了水分子调控甲壳素解构为纳米纤维的作用机制。其次，将生物质纳米纤维应用于非均相皮克林乳液构建及其非均相材料开发中[2]，创立起一套有效破解并利用生物质与水复杂作用快速构筑三维超材料的科学方法[3]，为低值生物资源的高值综合利用提供理论与实践基础。本研究的长期目标是在“碳达峰与碳中和”的概念下，通过非均相体系促进生物质资源的开发与应用。

关键字 纳米纤维素、Pickering乳液、液晶

分类：主题 E 其他生物质资源的开发和利用

124

**甲壳素基纳米酶的构建及其应用**

江雪玉

武汉轻工大学食品科学与工程学院

武汉大学化学与分子科学学院

纳米酶是一种具有类酶活性的人工酶纳米材料，能避免天然酶稳定性低、成本高、实际应用有限和贮藏困难等问题[1-2]。因此，科学家们致力于把控纳米材料的理化结构设计，从而得到理想的催化作用酶。目前， 纳米酶工程虽然取得了较大的进展，但其催化活性低、动力学性能差等缺点仍制约着其作为天然酶的替代品和进一步的发展。众所周知，甲壳素在自然界中分布广泛，作为地球上储量丰富的生物质材料却常以工业废弃物的形式直接丢弃，造成资源浪费。甲壳素具有较长的葡萄糖长链且分布了丰富的氮或氧官能团[3]。甲壳素含有大量的锚定位点可以用来捕获催化活性位点，且在烧结过程中甲壳素的各种杂原子被掺杂到纳米碳框架中，导致空位缺陷和较大的比表面积。 利用生物废弃物制备单原子催化剂也有利于未来的可持续生活方式和目前的化学循环转化需求。本文设计利用甲壳素负载金属纳米粒子以及金属单原子构建具有高效类酶活性的系列普适性纳米酶材料，在H2O2存在下可以有效地诱导类似过氧化物酶的活性，从而产生大量的羟基自由基（•OH），对大肠杆菌和耐甲氧西林金黄色葡萄球菌产生近100％的抗菌效率以及广谱肿瘤细胞的抑制作用。总的来说，我们的工作突出了甲壳素基纳米酶的广泛的抗菌和抗感染生物以及抗肿瘤应用，为生物质纳米酶的普适性合成策略研究及其应用提供了新的思路。

关键字 ​纳米酶；甲壳素；锰纳米粒子；铁单原子；抗菌；抗肿瘤

分类：主题 E 其他生物质资源的开发和利用

126

**壳聚糖/Zn催化剂的构建及在借氢反应中的应用**

黄宇、尹晓刚、裴响林

贵州师范大学

随着经济的快速发展，当前环境污染问题日益成为人们最关注的话题[1, 2]，面对不可再生资源的枯竭，可再生资源的开发利用就变得迫在眉睫[3]。壳聚糖是甲壳素脱乙酰化的产物，由于其生物可降解性及生物相容性，为功能性的纳米材料开发提供了大量机会。本研究中，我们采用溶胶-凝胶法成功构建了壳聚糖微纳米多孔微球，并将其作为载体支撑Zn纳米催化剂。因其壳聚糖微球具有较大的比表面积以及丰富的官能团，便于更好分散的同时提供更多的附着位点，并且能够更好的使金属与甲壳素之间相互作用[4]。在120℃下将所得的催化剂使用一锅合成法进一步应用于硝基苯和苯甲醇的借氢反应中，催化剂用量为硝基苯物质量的1.8 mmol%，其芳香族、杂环族和不同的醇反应均表现出良好的催化活性及稳定性，同时具有广泛的适用性，并且经过多次循环后产率仍可达到90%以上。本实验利用可再生资源壳聚糖构建高效绿色催化剂，同时该反应唯一的副产物为水，有利于绿色化学发展以及可持续化的实现。

关键字 壳聚糖微球，Zn催化剂，借氢反应

分类：主题 E 其他生物质资源的开发和利用

128

**玉米秸穰三维生物吸附剂对阳离子染料的吸附性能研究**

李佳祺、高欣、张恒、张书美、胡秋月、张渝婷

昆明理工大学

    为实现染料废水处理过程中农废物秸秆天然高分子组分和生物结构的综合利用，提出了一种简便有效的策略，采用“自上而下”的理念对玉米秸穰（CSP）进行原位脱脂，直接将其转化为三维吸附材料（D-CSP），用于净化亚甲基蓝（MB）和阳离子红GTL（GTL）废水。CSP上脂类物质的去除使其表面具有更大的比表面积和更多的吸附位点。此外D-CSP的各向异性结构为染料废水的吸附净化提供了优异的传质通道。基于这些优势，长度为3 cm的D-CSP在过滤速率为9 mL/min、初始pH为6.5、温度35 ℃和染料初始浓度为5 mg/L时，对MB和GTL的去除率分别为99.8%和99.3%。通过吸附动力学、等温线和热力学研究表明D-CSP对两种染料的吸附过程均是以化学吸附为主的吸热自发反应，其中对MB为多层吸附，对GTL为单层吸附。突破点研究表明，当吸附柱高度为45 cm时，其处理 MB和GTL的溶液体积和耗竭率分别可达3000 mL和2100 mL以及0.70 g/L和1 g/L。该方法展示了一种用于高效净化染料废水的生物过滤器，为秸秆的功能化利用提供了实验基础和理论参考。

关键字 玉米秸穰；吸附机理；三维吸附剂；阳离子染料；突破性分析

分类：主题 E 其他生物质资源的开发和利用

130

**甲壳素在NaOH水溶液中均相脱乙酰过程对凝胶行为**

**的影响**

林兴焕

赣南师范大学

甲壳素具有优良的生物相容性和生物可降解性，在生物医用方面具有广阔的应用前景。甲壳素开发和应用的主要挑战仍然是发现绿色高效溶剂，以及对甲壳素溶液性质和凝胶行为深入理解1。本文系统研究了均相脱乙酰化甲壳素在NaOH水溶液的凝胶行为和相应的聚集态结构及性能。甲壳素溶液的宏观溶液性质受脱乙酰度的影响较大，其中乙酰氨基和氨基的不同比例决定了甲壳素或壳聚糖链自组装行为，调控非共价相互作用（氢键或疏水相互作用）的组成和密度，最终决定了甲壳素材料的性质。因此，可以根据甲壳素或壳聚糖链的脱乙酰程度来定制水凝胶的结构和力学性能。进一步揭示水凝胶链的自组装行为和聚集结构机制，将有助于准确操纵甲壳素基水凝胶的性质，拓宽其应用领域。

关键字 甲壳素；脱乙酰度；聚集态结构；结构与性能

分类：主题 E 其他生物质资源的开发和利用

188

**甲壳素接枝弹性体的合成及其性能调控机理**

蒋峰

安徽农业大学

甲壳素是一种十分重要的可再生资源，是地球上存在的含量仅次于纤维素的天然多糖，可以从虾、蟹等甲壳纲的节肢动物中提取。甲壳素价格低廉、无毒，具有良好的生物相容性、优异的可降解性和高强度等优点，可用于食品添加剂、染料、生物医药、织物和化妆品等领域，用途非常广泛[1]。甲壳素由N-乙酰氨基葡萄糖以b-1,4糖苷键连接而成，存在大量的分子内和分子间氢键，因此在常用溶剂中的溶解性很差，使其应用受到了极大的限制[2]。甲壳素分子链具有很强的刚性，可以作为接枝聚合物的主链使用。然而，到目前为止，只有日本的Kadokawa课题组利用原子转移自由基聚合（ATRP）方法制备了高接枝密度的甲壳素-接枝-聚苯乙烯（Chitin-g-PS）聚合物[3]。如何制备接枝密度及拓扑结构可控的甲壳素基接枝聚合物，这对于甲壳素的进一步开发利用和拓展至关重要。可逆加成-断裂链转移（RAFT）聚合也是一种可控的活性自由基聚合方法，可以高效地合成窄分子量分布的接枝聚合物。利用RAFT聚合制备聚合物时，通过选择不同的链转移剂可以实现众多单体的聚合，非常高效。然而，到目前为止还没有利用RAFT聚合方法合成甲壳素接枝聚合物的报道，究其原因，是由于目前还没有设计出可用于RAFT聚合的基于甲壳素的大分子链转移剂。因此我们提出一种制备甲壳素大分子链转移剂的方法，使用该方法可以合成一系列带不同官能团的甲壳素基大分子链转移剂，所合成的大分子链转移剂可以用于新型甲壳素接枝聚合物的设计和制备，具有广泛的应用前景。接枝聚合物与普通的线性聚合物有很大的不同，其独特的拓扑结构使得其机械力学性能远优于传统的线性聚合物。同时，通过改变甲壳素含量、接枝密度，接枝长度、以及作为侧链的单体的结构以及两者之间的相对比例实现接枝弹性体性能的精准调控，从而制备出具有优异性能的弹性体材料。

关键字 甲壳素 接枝聚合 刷状弹性体 力学性能

分类：主题 E 其他生物质资源的开发和利用

190

**基于类淀粉聚集的蛋白质材料**

杨鹏

陕西师范大学

蛋白质类淀粉样聚集体系是我们在国际上率先提出的一类控制蛋白质聚集与相关材料制备的新方法。通过在此方向持续10余年的不断耕耘，已经将此类体系发展成为涵盖生物大分子链聚集与有序组装调控理论、生物基胶体、生物表界面和体相功能材料的从基础到应用的全链条系统。该体系的典型特征就是可以通过简单温和的二硫键还原反应，快速控制蛋白质在纳米、微米和宏观尺度上的聚集，从而形成界面粘附性能优异、本体功能高度可调的薄膜、胶质、纤维等各类软物质。经过国内外诸多学者对该体系持续不断的研究、丰富与完善，蛋白质类淀粉样聚集已经成为一类重要且独居特色的调控蛋白质材料结构与功能、实现表面改性与功能化的新方法。本次报告将介绍该类体系的基本原理、典型特征、使用要点、构效关系调控规律以及最新的在面向可持续发展和人民生命健康中的实际应用。

关键字 类淀粉样聚集；表界面；蛋白质；生物大分子；天然高分子

分类：主题 E 其他生物质资源的开发和利用

196

**生物基功能材料设计与开发**

朱宁

南京工业大学

生物质转化制备生物基高分子材料对于双碳战略、资源安全意义重大，本文聚焦生物基功能材料的设计与开发，通过构效关系研究，创新系列高附加值生物基功能性多元醇，包括植物油多元醇、可降解多元醇和不对称多元醇，应用于替代石化聚醚多元醇制备聚氨酯材料和新型光刻胶材料等，发展了微尺度连续流制备新方法，提出了基于流场结构优化的微尺度效应调控与拓展策略，实现了植物油多元醇5万吨/年产业转化。

关键字 生物基材料；结构设计；制备方法；产业转化

分类：主题 E 其他生物质资源的开发和利用

198

**纳米甲壳素基凝胶材料的制备及应用**

刘亮、陈菲儿、李昕霞

南京林业大学

由于富氨基纳米甲壳素的酸分散性质，京尼平交联纳米甲壳素制备凝胶的反应pH被限制在5.0以下。研究发现pH和交联温度对京尼平交联纳米甲壳素凝胶的交联效率、凝胶强度以及凝胶内部孔隙结构具有显著影响。通过37 ℃条件的预交联以及之后的冰晶模板介导造孔的方法可以有效地提高京尼平交联纳米甲壳素凝胶的强度，使得京尼平交联纳米甲壳素的内部呈现出一种片层堆叠的状态。然而京尼平交联纳米甲壳素凝胶机械性能较差，通过复配明胶可以极大增强纳米甲壳素凝胶的机械强度同时摒弃氨水蒸汽凝固浴，在纳米甲壳素/明胶总固含量不变的条件下，京尼平交联得到的凝胶强度显著提升。利用高碘酸氧化能制备得到双醛纤维素以替换高成本的京尼平，并且通过冰晶模板介导交联的方法能够制备出具有优异机械强度以及形状恢复性能的双醛纤维素交联纳米甲壳素复合凝胶材料，而通过进一步的定向冷冻策略能构建出具有定向孔隙的复合凝胶，水凝胶在横向具有较优的形状恢复性能。

关键字 纳米甲壳素；水凝胶；气凝胶

分类：主题 E 其他生物质资源的开发和利用

199

**甲壳素基温敏水凝胶负载外泌体用于牙髓再生**

**的研究**

王诗蕾、周金平

武汉大学

可注射水凝胶因能用于不规则创口处组织再生而备受关注[1]。牙髓腔狭窄细长， 其组织工程支架材料既要求黏度低又需要一定的机械强度承载活体细胞均匀分散，且最终能被生物降解。 本研究构建了一种具备良好理化性能和生物活性的羟丙基甲壳素/甲壳素纳米晶（HPCH/CW）温敏水凝胶。由于牙髓干细胞分泌的外泌体携带了细胞的特征生物分子，可充当组织工程中生物因子的角色， 但外泌体半衰期短、易被机体清除的特点限制其治疗效果。为了解决上述问题， 我们将所分离的外泌体直接包覆在 HPCH/CW 预凝胶中，便于在体温下形成三维均匀分散的组织框架（HPCH/CW/Exo）。 外泌体负载的温敏水凝胶易于注射到不规则的牙髓间隙中并在原位凝胶化（图 1）。 适宜的甲壳素纳米晶添加量能够在不影响溶液黏度和凝胶时间的同时，将凝胶弹性模量增加到原凝胶的 1.6 倍。 该温敏水凝胶能够实现外泌体的长效缓释，同时具备匹配组织再生的降解速率。 体外细胞实验证实 HPCH/CW/Exo 水凝胶能够促进牙髓干细胞的成牙本质分化和血管生成。 动物实验发现， 在植入老鼠皮下的牙根模型中形成了新生的牙髓组织。因此，本研究提出的组织工程支架构建思路和生物因子递送策略具备潜在的应用价值，为牙髓再生的临床转化提供了新思路。

关键字 甲壳素，可注射温敏水凝胶，甲壳素纳米晶，牙髓再生，外泌体

分类：主题 E 其他生物质资源的开发和利用

202

**碱法半纤维素提取及其LCC结构的富集与识别**

王鑫、梁辰、濮佳莉、刘杨、王双飞、覃程荣、姚双全

广西大学轻工与食品工程学院

生物质资源转化利用的关键是有效打破其本身具有的抗解聚屏障。抗解聚屏障主要由木质素和半纤维素间形成的复合物（LCC）组成，因此对LCC的结构分析具有重要意义。本研究采用冻融辅助两步碱处理法提取竹子中半纤维素，以此为研究对象利用木聚糖内切酶-大孔树脂连用的方法提取富含碳水化合物的LCC。探究了半纤维素提取过程的最佳工艺，讨论了木聚糖内切酶在处理过程中酶用量和时间两个关键因素对LCC富集效果的影响。实验结果表明，在最佳条件下（冷冻条件-20 ℃、12 h；碱处理条件5%、80 ℃和90 min）半纤维素的提取率高达90.54%。此外，选择相对较高的112~140 U/g酶用量和适中的60~90 min酶处理时间可以同时满足木质素含量和结构完整性的富集要求。分析结果表明，碱法半纤维素中LCC的连接键以苯基糖苷键为主，木质素的组成呈现S > H > G规律。该方法为解决LCC信号掩蔽和检测灵敏度低的问题提供了一种新思路。

关键字 碱法；木质素-碳水化合物复合物（LCC）；富集；苯基糖苷键

分类：主题 E 其他生物质资源的开发和利用

223

**木质素衍生物水相低温高效催化转化**

王健健、冉建速、杨程瑞雪

重庆大学

许多重要的商业精细化学品都含有苯环结构，而木质素是唯一由芳香族单体组成，因此其可作为含量丰富的可再生原料用于生产芳香族精细化学品。然而，木质素直接热解转化为木质素衍生物过程中往往会伴随着一定量的水产生（>10wt.%），这部分水会溶解一部分木质素衍生物，从而造成木质素衍生物萃取分离时产量的降低。因此，开发水相HDO催化工艺，用于木质素衍生物的高效选择性转化，能够实现含碳资源利用率最大化，同时也是生产高附加值精细化学品和液体燃料的关键。我们实验中发现，以商业的硅藻土为催化剂载体，经磷酸化处理且辅以活化氢的钯组分后，该复合催化剂在香草醛水相低温加氢脱氧反应中显示出优异的催化活性，经过60 °C反应8 h后，香草醛即可转化完全，产物的选择性高于95%（如图1），这一低温性能远远超过文献中所报道的催化体系；同时底物拓展实验表明，该催化剂在其他木质素衍生物加氢脱氧反应中也显示出较好的催化活性[1]。进一步研究发现，催化剂表面的酸物种和贵金属组分均是反应的活性位点，且催化剂结构中的酸位点能够促进底物的快速吸附和活性，同时酸位点与加氢活性中心存在协同催化作用（如图2），两者共同快速催化反应中间体以自由基路线转化为最终产物[1-3]。本研究工作为水相低温选择性催化转化木质素衍生物制备高附加值化学品和生物燃料提供了一个新方法，加快了生物质高值化利用的研究进程。

关键字 生物质，木质素，多相催化，低温转化

分类：主题 E 其他生物质资源的开发和利用

235

**生物基动态交联高分子材料**

张新星、王楠、崔钦科、李昕凯

Sichuan University

全球石化资源日益匮乏、气候变暖等环境问题不断加剧，生物基材料由于储量丰富、可再生等特性，是实现“双碳”战略目标的重要一环。利用生物质及其衍生物制备高分子材料是替代传统石油基塑料的重要途径之一，但生物基材料并不等同于生物可降解、可回收材料，简单提高复合材料中的生物质含量难以满足降碳需求。本课题组面向高分子材料绿色循环开展研究，通过对环氧大豆油、壳聚糖等生物大分子进行改性应用，设计组装纤维素、单宁酸等生物基纳米晶体，研究动态价键解离与复合调控机制，探索了生物基衍生物在动态交联高分子材料基体、填料以及交联剂各组分中的高值利用，实现了生物基高分子复合材料的强韧化、功能化以及高效易循环，为推动绿色替代和循环经济发展提供理论与技术支撑。

关键字 生物基材料，动态交联，自修复，单宁酸，纳米纤维素

分类：主题 E 其他生物质资源的开发和利用

265

**椰子食品加工尾水合成细菌纤维素的研究**

刘玟妍、牛成、刘海芳

海南大学

细菌纤维素是一种由微生物发酵合成的纤维素，具有优异的机械特性及独特的纳米网络结构。细菌纤维素的规模化生产培养基多来源于椰子水[1]、菠萝汁[2]等，其成本高、易受季节限制。据调研，海南椰子食品加工产业规模显著，相关企业排放椰子食品加工尾水每天约达8000吨，尾水含有丰富的生物质，若作为工业废水排放，其处理技术难，且处理费用高昂。本研究因地制宜，采用椰子食品加工尾水并对其进行预处理，然后加入适量的碳源、氮源和无机盐等营养成分，作为生物合成细菌纤维素的培养基，接种木醋杆菌，于pH 4.5和30℃条件下，恒温静态发酵7d，成功得到细菌纤维素凝胶，其产量为3.36g/L。进而用红外光谱和扫描电镜等技术对合成的细菌纤维素进行了结构和表观形貌分析。

本研究实现了椰子食品工业生产尾水到细菌纤维素凝胶的转化，大幅度降低了细菌纤维的生产成本，并为椰子食品加工尾水处理技术提供新的思路，达到“一箭双雕”的效果，该成果已申报国家发明专利获受理。

关键字 细菌纤维素、木醋杆菌、椰子食品加工尾水

分类：主题 E 其他生物质资源的开发和利用

268

**从坚硬花粉颗粒到智能微凝胶积木**

赵泽

武汉大学

面向我国“双碳”和“绿色发展”的重大战略，探索多元化的生物质资源转化方式，充分利用生物质天然多层级结构，加速发展兼具环境友好与先进功能的材料体系，是我国可持续和高质量发展的关键。

植物花粉是非粮生物质资源的重要组成部分，仅我国每年的预估可采集量就高达3000万吨，但是综合利用率却不足0.01%。花粉的多面性不仅体现在对植物遗传物质的保护、传送和释放，而且对环境、人类健康、粮食安全和气候等方面也产生着深远影响，同时还展现出了潜在的保健和治疗作用。虽然花粉因其独特的物理结构和特性而经常被称为“植物界的钻石”，但从材料科学和工程的角度来看，人们对它的认识还不够深入。其中关键阻碍来源于花粉外壁超乎寻常的高硬度、难溶解性以及对强化学试剂的抵抗力。所以，传统的花粉功能化改性策略通常只能得到坚硬、疏水且化学惰性的外壳，结构简单，功能单一。

为此，我们提出“花粉壁原位热碱重塑”策略，首次将坚硬的花粉颗粒转化为柔软的、动态的、可组装的微凝胶，并进一步将其作为微模块积木，构建多尺度花粉基组装体，包括薄膜，纸张、海绵、凝胶等（图1），实现了环保处理、灵活加工与生物质理化结构优势的有机融合，从而释放出多领域的潜在应用。

关键字 花粉生物质、加工与改性、组装体、功能化、智能

分类：主题 E 其他生物质资源的开发和利用

271

**乙酰化改性对百蕊草多糖理化特性和抗炎活性**

**的影响**

邵丽君、王文杰、储秋露、吴淑芳

南京林业大学

百蕊草作为一种传统中草药，具有悠久的使用历史，但是关于百蕊草多糖的研究却不多。本研究以百蕊草为原料，采用水提醇沉法提取百蕊草多糖，并用乙酸酐法对其进行乙酰化修饰，对修饰前后样品的化学组成、理化特性、抗氧化能力及抗炎活性进行表征和分析，研究乙酰化改性对上述性能的影响。结果显示：乙酰化改性后样品的分子量及可溶性蛋白含量略有下降，表观黏度、热稳定性和Zeta-电位均有所上升。改性后的样品对ABTS自由基的清除能力显著提升（p < 0.05），相对乙酰度1.26±0.03的样品浓度为3 mg/mL时，清除能力达99.49±0.10%。此外，百蕊草多糖能够显著抑制刀豆蛋白A活化的淋巴细胞的增殖，其中TNF-α含量从58.28 pg/mL下降至39.93 pg/mL，抗炎效果显著。本研究结果表明，乙酰化修饰可以提升百蕊草多糖的理化特性、抗氧化和抗炎活性，这为百蕊草多糖功能性产品开发提供了理论依据。

关键字 百蕊草多糖；乙酰化；理化特性；抗炎活性

分类：主题 E 其他生物质资源的开发和利用

275

**分级多孔的纤维素基复合膜用于果蔬低温保鲜包装**

雷小娟

西南大学

低温保鲜是延长食物保质期的必要途径，但由于受日益增长的能源消耗和碳排放，以及分散食品保鲜需求的影响，食品低温贮藏仍然面临挑战[1]。被动辐射冷却是一种可持续的食品保鲜方式，该方法可以通过大气透明窗口将物体的热能散发到超冷的外太空，而无需消耗任何能量[2]。本文基于水辅助诱导相分离的简单易行策略，构建了一种分层多孔（0.006-10 μm）的醋酸纤维素/氧化锌（CA/ZnO）纳米复合膜，以实现无任何能量输入的被动辐射冷却（图1）。浓度为30 wt%的氧化锌薄膜通过高太阳反射率（97.0%）和高中红外发射率（94.0%）实现了亚环境温度的辐射冷却，在强太阳光照射下实现了13.8 ℃的日间温度下降。当用于食品包装时，CA/ZnO薄膜在阳光直射下可以使金针菇的温度降低18 ℃。贮藏温度的降低超过了其他市面上的食品包装材料，可以将草莓的储存时间有效延长到9天。同时，该薄膜还表现出优异的抗菌、自清洁和可重复使用的特性。这种无能耗的冷却薄膜在食品保鲜以及其他需要控制环境温度的应用中具有巨大的潜力。

关键字 低温贮藏，辐射制冷，薄膜, 食品包装

分类：主题 E 其他生物质资源的开发和利用

278

**超快速吸水复合冷冻凝胶止血海绵完成不可控出血止血**

李茂财、戴旗远、朱双丽、冯琦、高会场、曹晓东

华南理工大学

传统止血材料对不可控出血的止血效果有限，导致较高死亡率。需要一种强力有效的止血材料，不仅可以通过形成坚固的物理屏障、激活凝血活性物质完成不可压缩创面出血的快速止血，还能够绕过凝血级联反应完成凝血障碍患者止血。在本工作中，通过一锅法制备了季铵化壳聚糖（QCS）、氧化羟乙基纤维素（OHEC）和掺铁生物活性玻璃（FeBG）复合冷冻凝胶（QCOC/FeBG）。QCOC/FeBG复合冷冻凝胶具有互联大孔结构、超快吸水性能（4s内达到吸水饱和，饱和吸水率达到66.70±2.05 g·g-1）、良好的形状记忆性能（1s内恢复到原始形状）、抗菌性能和生物相容性。此外，在凝血障碍大鼠肝脏不可压缩出血模型中，QCOC/FeBG复合冷冻凝胶具有优异的止血效果，止血时间和失血量分别为60.87±2.09 s和366.38±32.69 mg，显著低于市售明胶海绵(196.62±19.02 s和1439.37±165.27 mg)。上述结果表明，QCOC/FeBG复合冷冻凝胶具有优良的止血性能、抗菌性能、便携性和易操作性，在日常民用和军用止血方面具有很大的潜力。

关键字 止血、快速吸水、不可压缩出血、凝血障碍、冷冻凝胶

分类：主题 E 其他生物质资源的开发和利用

279

**废旧动物丝纤维低尺度化及其利用**

郑可

安徽农业大学

然界中存在许多动物可以通过“吐丝”的方式获得支撑自身生命活动的纤维状材料，例如，大多数鳞翅目及鞘翅目的昆虫都可以生产丝纤维。这些“野生”动物丝纤维部分性能虽不如广为人知的蜘蛛主腺体丝与桑蚕丝纤维，但其多数具有自身独一无二的特点可以加以利用。本研究主要发展了对野生柞蚕（Antheraea pernyi）丝及美国白蛾（Hyphantria cunea）丝纤维的多种低尺度化方法，成功提取了上述动物丝中微、纳结构单元。同时，对比了不同动物丝纤维中介观结构差异及微、纳纤维形貌区别。此外，针对所获得不同尺寸分布的动物丝介观结构单元，制备了一系列如特种纸张、水处理材料、纳米载体、光学防伪、力学响应等材料形式加以利用。

Figure 1. The morphology of H. cunea silk fibers. (a) The kink structures of H. cunea nanofibers with (b) a diameter of ~2 nm. (c) AFM image of as-prepared H. cunea nanofibers. (d) WAXS pattern of H. cunea silk fibers.

参考文献：

Ke Zheng, Jiajia Zhong, Zeming Qi, Shengjie Ling\*, David L. Kaplan\*. Isolation of Silk Mesostructures for Electronic and Environmental Applications. Advanced Functional Materials, 2018, DOI: 10.1002/adfm.201806380.

Huanhuan Qiao, Shujie Wang, Li Liu, Wei Wu, Leitao Cao, Zhongkai Wang\*, Ke Zheng\*, Binary solvent-exchange-induced self-assembly of silk fibroin birefringent fibers for optical application. International Journal of Biological Macromolecules, 2023, 236, 123627.

关键字 废旧动物丝；低尺度化；纳米纤维；光学材料

分类：主题 E 其他生物质资源的开发和利用

280

**造纸副产物木聚糖增强的纳米流控膜用于**

**渗透能转换**

宋光辉1、詹沿1、胡亚洁1、饶俊1、吴忠旋1、苏振华2、吕保中1、刘瑞平3、姜波4、陈阁谷1、彭锋1

1. 北京林业大学

2. 中国纸浆造纸研究院有限公司

3. 中国矿业大学（北京）

4. 南京林业大学

由海水和淡水盐度梯度中获得的渗透能是一种很有前景的清洁能源[1]。聚合物与二维材料组装形成的纳米流控膜通过将盐度梯度的电化学电位差直接转化为电流的方式进行渗透能转换。但微米级聚合物纤维会在离子通道中缠绕，导致较高的内部传质阻力和较低离子选择性[2]。本研究将制浆造纸工业溶解浆生产过程中的副产物（低分支度木聚糖）经羧甲基化改性转化成水溶性的羧甲基木聚糖纳米晶（CMX），并与二维材料MXene通过真空自组装的方式制备出具有低内阻和高力学强度的CMX/MXene纳米流控膜用于渗透能收集。研究表明，该纳米流控膜具有优异的力学性能，MXene与CMX质量比为3: 1时，其最大力学强度达到284.96 MPa，平均力学强度276.08 MPa，是原始MXene膜力学强度的10倍。在1000倍NaCl浓度梯度下，其最大输出功率密度为14.52 mW m-2，是相同条件下原始MXene膜的7倍（~ 2.13 mW m-2 ）。这项工作表明，羧甲基木聚糖纳米晶能够有效增强纳米流控膜的性能，并为传统工业纸浆造纸废料的高值化应用提供了新思路。

关键字 造纸副产物；木聚糖；MXene；渗透能转换

分类：主题 E 其他生物质资源的开发和利用

282

**DES协同生物酶处理竹粉/热塑性淀粉复合材料的制备与性能研究**

孙浩俊、蔡一凡、吕艳娜\*

大连工业大学轻工与化学工程学院

摘要：随着碳中和与碳达峰政策的颁布实施，推动生物基材料的开发与研究。本文使用混炼-热压的方式来制备生物基复合材料。首先使用低共熔溶剂（DES）协同生物酶对竹粉（BP）进行处理，再将处理后BP与热塑性淀粉（TPS）进行混炼，通过氢键作用将BP与TPS紧密结合，最后使用热压成型方式制备复合材料，对材料的力学性能、增强机理和微观结构等方面进行详细研究。结果表明：处理后的BP中纤维素羟基暴露出更多羟基，且DES协同酶处理后的BP与TPS之间氢键作用增强。其中DES协同纤维素酶处理后的竹粉/热塑性淀粉复合材料（DCBP/TPS）性能最佳，拉伸强度为9.29 MPa，弯曲强度为13.78 MPa，冲击强度为3.58 KJ·m-2；氢键拟合分析结果表明，协同处理后竹粉分子间氢键强度由74.6%下降到最少48.9%，推动与热塑性淀粉之间的接触，增加与热塑性淀粉上羟基氢键作用的概率；SEM分析可知，DES协同酶处理后BP表面变粗糙，增加与热塑性淀粉粘附力；DCBP/TPS表面光滑平整，拉伸断面未出现纤维脱落孔洞及剥离现象。

关键字 复合材料；酶处理；增强机理；热塑性淀粉；农林废弃物

分类：主题 E 其他生物质资源的开发和利用

320

**基于三维互锁分层结构设计的高性能吸波材料**

艾帅

东华大学

生物质衍生碳材料因其高比表面积、高孔隙率等特性，在储能、催化、环境修复、电磁波吸收等领域具有潜在的应用前景，并受到了广泛关注。本研究以核桃壳为原料，采用一步煅烧的方法与化学聚合工艺结合，制备了具有三维互锁层次结构的碳基复合材料。以介电损耗特性优异的轻质导电多孔纤维作为框架材料，将磁损耗特性优异的Fe3O4纳米颗粒与PNT均匀化学键合在多孔框架上，从而获得高性能的吸波材料。该三维互锁分层结构的吸波材料采用了多重耗散机制，如磁性与介电偶极之间的相互作用、界面极化与散射以及多孔交叉与层状结构之间的多次反射，显著增加了其电磁波的吸收效率。通过优化PNT含量及三维互锁分层结构设计，该吸波织物具有优异的微波吸收效率。结果表明：PCS-F-0.5具有优异的吸波性能，当厚度为2 mm时，最小反射损耗(RL)为-39.4 dB，有效吸收频宽(EAB)为3.3 GHz。当厚度为1.5 mm时，实现4.1 GHz的最宽有效吸收频宽。此外，由核桃壳和纳米管制成的碳基复合材料具有优异的微波吸收性能，在电磁波吸收领域具有良好的前景，其制备工艺具有成本低、绿色可持续等优势，可替代传统的吸波材料。

关键字 生物质碳材料，吸波材料，三维互锁分层结构，生态环保，化学聚合

分类：主题 E 其他生物质资源的开发和利用

338

**木质纤维素基“代塑”材料开发**

李强、张艳、姜奇缘、黄品歌

华中农业大学

木质纤维素是地球上最大的生物质资源之一，以此为原料的生物基产品制造将极大促进绿色、低碳、环保型社会的发展。本团队近年来专注于木质纤维素代塑产品开发，以多源木质生物质为原料，在可降解材料创制等方面取得系列进展。首先，采用高含碳木质素取代石油基的聚丙烯腈，通过定向设计木质素化学结构，制备了可用以汽车行业的碳纤维产品；其次，开发了木质素基的可降解薄膜产品，取代现有聚乙烯膜用以农业地膜和食品包装；第三，开发了纤维素基液体农业地膜，通过简单喷淋即可实现作物保温增墒增产；第四，开发了基于纳米纤维素的可降解过滤膜材料，通过静电纺丝制备了高强度、可降解、自杀菌、高过滤性能、高透气性能、可重复使用的多功能纳米纤维网用以制备绿色口罩；第五，开发了基于竹纤维和秸秆纤维的纸浆模塑产品，用于餐厨用品代塑。这些研究为建立以木质纤维素为基础的先进制造奠定了基础，可助力国家“双碳”目标的达成和未来社会的绿色可持续发展。

关键字 木质纤维素，代塑，农业地膜，多功能纤维

分类：主题 E 其他生物质资源的开发和利用

342

**液相剥离介观尺度胶原用于胶原膜材料构建**

刘乐乐

郑州大学材料科学与工程学院

  胶原蛋白是一种纤维性结构蛋白，具有机械强度高，生物相容性好、生物降解性高和抗原性低等优势，可用于生物医学、柔性传感等领域。为了提高胶原材料性能，探寻胶原新加工途径，实现胶原高值化综合利用。本工作首次在碱/尿素水溶液体系中通过循环冻融处理，将天然牛腱胶原进行结构剥离。通过调整冻融循环次数和超声处理强度，获得了一系列具有不同尺度和形貌的胶原微纤维、胶原纳米纤维。该工作进一步以胶原微纳纤维为基本结构单元制备了性能优异的胶原膜材料。所制备的干态膜拉伸强度可达到190MPa，湿态膜拉伸强度可达1.57MPa，应变可达116%。此外，该膜在溶剂中表现出良好的稳定性、优异的力学性能和光学性能，在光学和力学传感器中具有很大的应用潜力。此外，体外和体内评估表明，胶原膜具有良好的细胞相容性、生物相容性和可降解性，在生物医学中具有潜在的应用前景。本工作为天然胶原的加工提供了新原理和新方法，为新型胶原材料的设计和构建提供了新思路。

关键字 胶原蛋白，层次结构，介观尺度，剥离，膜

分类：主题 E 其他生物质资源的开发和利用

349

**木质纳米纤维素在水系锌离子电池中的应用研究**

刘朝政1、梅长彤1、李美春2

1. 南京林业大学

2. 中国石油大学（华东）

水系锌离子电池（AZIBs）因其锌资源丰富、低成本、易制备及高安全性等特点而受到广泛关注，然而其负极严重的枝晶生长和寄生反应发生等问题显著影响了AZIBs的循环使用寿命。针对此问题，本研究利用木质纤维素纳米材料来改善AZIBs负极稳定性，深度解析了木质纤维素纳米材料的作用机制。首先，设计了一种具有抑制水分子和筛分锌离子双重功能作用的可降解木质纳米纤维素隔膜（2周内在自然土壤中可完全降解），该隔膜具备疏水表面（96°）、均匀的纳米孔结构（~20 nm）、优异的力学性能（47.8 MPa）以及良好的离子导电率（18.1 mS·cm-1）等优点，有效抑制了锌负极枝晶的生长，并降低了电解质离子的脱溶能量势垒，从而所组装的全电池表现出优异的电化学性能（比如在大电流密度为5 A·g-1下可充放电循环2000次）。另外，基于此，在木质纳米纤维素隔膜一面沉积二维材料MXene，有效诱导锌离子的均匀沉积和降低其成核势垒，因而显著改善了双面膜组装的锌对称电池和锌铜半对称电池的循环寿命。

关键字 木质纳米纤维素；水系电池；锌负极稳定性；隔膜

分类：主题 E 其他生物质资源的开发和利用

351

**超临界甲醇作用下生物质解聚耦合加氢脱氧**

**反应机理**

李建

新疆大学

生物质解聚与加氢脱氧反应是生物质转化两个重点方向，本研究在超临界甲醇加氢脱氧体系利用液体甲醇作为供氢体、非贵金属水滑石作为催化剂，在260-320℃能实现生物质解聚与加氢脱氧反应耦合。结果表明该反应具有速率高、催化剂廉价、产物选择性高、副反应少等优点，纤维素、半纤维素组分能100%转化为C2-C6高级醇，木质素组分能转化为C9+环烷醇结构，生物质热解油水相组分能转化为混合醇。对于生物质热解油加氢脱氧研究表明，轻质热解油被转化为C2-C8醇类。重质热解油中芳香环结构由64.3%下降到27.3%，氧含量由26.8%下降到9.7%。CuAlMgOx催化剂加氢反应速率(142.0mol/g\*h)约为Ru/C催化剂(78.8mol/g\*h)的两倍。重质热解油中约50%的碳转化为含氧低于10%的提质油，提质油高位发热量38.2MJ/kg与柴油热值42.6MJ/kg相当。本文从反应动力学、原料结构、反应参数、及催化剂组成等方面研究了反应调控机理，对生物质在超临界甲醇中转化特性进行深入研究。

关键字 生物质；纤维素；超临界甲醇；催化转化

分类：主题 E 其他生物质资源的开发和利用

361

**炭黑上构筑具有环氧基团相邻的Co-O/C活性中心实现酸性条件下高效电催化合成双氧水的研究**

银浩

贵州大学

单原子催化剂（SACs）中过渡金属的配位环境对于调节电催化氧还原反应（ORR）的途径至关重要。然而，同时精确调控金属活性中心附近的第一和第二配位结构非常困难。在此，我们报道了以酸活化的炭黑，通过吸附和热解的方式，构筑具有相似的第一和第二配位结构，用于锚定过渡金属单原子。其中，Co-SAC表现出了优越的ORR生产H2O2的性能，通过旋转环形圆盘电极测试可知，在0.1 V vs RHE 时的电流密度约为∼2.8 mA cm-2，在0.3 V vs RHE的电位下，H2O2的产率高达110.2 mmol gmetal−1 h−1。通过气体扩散电解池（GDEs）时，具有0.65 V vs RHE高的正起始电位，在0.25至0.65 V vs RHE的电位范围内，对生成H2O2的选择性都是大于80%。另外，结合实验观察和理论计算表明催化活性中心可能位于环氧基团相邻的Co-C3/O1部分，并进一步揭示了环氧基团在第二配位层中的可能位置。此外，Co-SACs被用于电催化GDEs电解池中在酸性介质中分布式生产H2O2，并且将基于Fe-SACs的芬顿过滤器或电芬顿装置与H2O2电合成发生器相结合，可提供高效且可分布式的废水处理系统。因此，这一研究为结合实际应用实现在地化H2O2生产提供了一条有前景的可选择的路线。

关键字 2电子氧还原反应；Co-O/C活性中心；双氧水；电催化

分类：主题 E 其他生物质资源的开发和利用

365

**基于 Biginelli 反应高通量制备抗紫外棉织物**

刘宏臣1、代亚敏1、张晓莉1、刘连招1、杨红英1、祁海松2

1. 中原工学院

2. 华南理工大学

抗紫外棉纺织品在众多领域有着广泛的应用。传统物理方法制备的抗紫外棉纺织品存在稳定性和均匀性差的缺陷，同时大多数的物理方法改变了原织物的物理特性，如透气性、舒适性、外观色泽、力学性能等。此外，常见的化学改性法在制备抗紫外纺织品时大多伴随着复杂的工艺流程、高温高压、有毒溶剂的使用等，而且很难同时赋予棉织物高抗紫外性能和透气性。本文基于多组分反应通过表面改性的方式将具备紫外吸收特性的基团引入到棉纤维表面，赋予织物稳定且良好的紫外线吸收性能。该方法反应条件温和、可控性强、反应效率高、产物易分离，同时具备高通量的反应特性，制备的抗紫外织物具备良好的紫外线屏蔽性能，其抗紫外线系数（UPF）高达500，即使经过水洗10次后UPF值依然能保持在400以上。除此以外，抗紫外织物仍保留着原棉特有的高透气性和其它物理特性。

关键字 棉织物，Biginelli反应，抗紫外，高通量

分类：主题 E 其他生物质资源的开发和利用

367

**氮化碳的能带结构工程：水和苯甲醇中实现导带和价带耦合光还原氧化同时产氢**

潘荣兰

贵州大学

光催化选择性氧化醇类为相应的醛类受到了极大的关注。然而，探索具有高活性和选择性的光催化剂仍然是一个巨大的挑战。g-C3N4由于其适当的能带结构、良好的稳定性、无毒、易于制备，在光催化制氢和有机小分子选择性转化方面具有巨大的潜力。g-C3N4的可见光催化性能源于其π共轭体系，而未完全聚合的端氨基会影响π共轭结构。因此，本文利用端氨基嫁接芳香环来扩展π共轭体系的电子离域性，采用热聚合法制备了g-C3N4/PMDA有机复合光催化剂。结果表明，g-C3N4/PMDA光催化剂对析氢和苯甲醇选择性氧化的光催化氧化还原偶联反应表现出优异的性能，H2和苯甲醛的最佳生成速率分别达到13.87和6.93mmolg−1h−1。我们的工作为设计高效的醇类选择性氧化光催化剂提供了见解。

关键字 光催化制氢、g-C3N4、分子掺杂改性、能带结构调控、选择性光氧化

分类：主题 E 其他生物质资源的开发和利用

384

**木质生物质基呋喃-丙酮缩合物衍生胶黏剂的制备及其在人造板上的应用**

黄梨珍、孙文昌、帅李、罗小林、刘婧

福建农林大学

在人造板加工生产过程中，尽管脲醛、酚醛以及三聚氰胺甲醛树脂等甲醛系胶黏剂的应用性能较好，但其不仅存在释放甲醛的问题，而且生产原料对化石资源的依赖度较高[1]。因此，本论文以呋喃类化合物（糠醛和5-羟甲基糠醛）、单糖（葡萄糖和木糖）和天然木质生物质（如桉木、马尾松或秸秆）为原料，在LiBr-HCl-H2O-丙酮反应体系中一锅法合成碳水化合物基呋喃-丙酮缩合物，系统考察其作为木材胶黏剂的应用性能。呋喃-丙酮缩合物在磷酸的催化下，可以直接作为胶黏剂用于胶合板的胶合。尤其值得注意的是，在添加5 wt%二苯基甲烷二异氰酸酯（MDI）交联固化后的胶黏剂，其胶合板的湿粘合强度和干粘合强度均达到了国家标准二类板的粘合强度的要求（中国国家标准GB/T 9846-2015）。热压过程中，改性后的呋喃-丙酮缩合物渗入到板材的缝隙、孔洞以及细胞内部，固化后与板材形成机械连接效应，增强胶合板的胶合强度。本文探讨了木质生物质基碳水化合物转化为呋喃丙酮缩合物衍生粘合剂的方法，为高效制备无醛绿色木材粘合剂和木质生物质的高值化利用提供了新的途径。

关键字 生物质基木材胶黏剂；羟醛缩合；呋喃-丙酮缩合物；胶合板

分类：主题 E 其他生物质资源的开发和利用

389

**β-葡聚糖纳米纤维材料的制备、表征及对细胞行为**

**的调控**

吴朝希、王一飞

暨南大学

β-葡聚糖可从细菌、真菌、藻类等生物中大量获得，仅藻类β-葡聚糖的年产量就有100亿吨之多，是一种储量丰富的生物质资源。在化学结构方面，β-葡聚糖和纤维素结构类似，都是基于葡萄糖单体的同多糖。但前者链接方式为β-1,3糖苷键，后者为β-1,4糖苷键。在构象上，β-葡聚糖具有独特的三螺旋构象，与胶原蛋白二级结构极为类似，并具有多种生物活性，具有开发为生物材料的潜力。在本研究中，我们基于前期开发的自组装方法，利用温度和溶剂综合调控β-葡聚糖的自组装行为，驱动其与明胶形成纳米纤维复合网络结构，模拟人体软组织的微观结构。所获得的纳米纤维水凝胶材料具有较高的力学性能，并且纳米纤维可在应力作用下形成取向结构。该材料具有良好的生物相容性，支持神经细胞、成纤维细胞等细胞的粘附生长。取向后的纳米纤维材料可诱导细胞取向生长，具有开发为组织修复材料的潜力。

关键字 β-葡聚糖；纳米纤维；三螺旋；水凝胶；细胞；

分类：主题 E 其他生物质资源的开发和利用

392

**碱性低共熔溶剂分级秸秆废弃物联产LCC和XOS的研究**

蒋月菡、江柏衡、沈飞跃、沈飞、田东

四川农业大学

有效的预处理是实现木质纤维素资源化利用的技术关键。本研究提出了一种碱性胆碱类低共熔溶剂（DES）分级技术，实现水稻秸秆的高效分级，分别设置了时间梯度、温度梯度、氢键供体类型、浓度梯度四组条件参数，对该工艺进行优化评价，探究碱性DES水溶液预处理高效分离木质纤维素三组分机制，并解析预处理三组分（纤维素，水不溶LCC，低聚木糖XOS）的结构性质变化，最后对整个工艺体系的物质流进行核算分析。结果表明不同条件提取的LCC物理化学性质不同，包括分子量，热稳定性以及结构特征，说明可以通过木质素和木聚糖的比例来调控LCC功能性。所得的纤维素纯度较高，产率接近100%，并且葡萄糖转化率将近100%。最后DES废液可通过真空蒸馏回收再生DES。因此本研究实现了一步法高效分离木质纤维素的新路径，整个工艺在高效分离木质纤维素的同时，在每个环节实现了对绿色溶剂的回收再利用，尽可能减少了对环境的污染，建立了生物质资源利用的循环体系。

关键字 碱性低共熔溶剂，秸秆废弃物，纤维素，木质素-木聚糖复合体，低聚木糖，分级技术

分类：主题 E 其他生物质资源的开发和利用

404

**关于造纸化学应用基础研究的思考与探索**

王立军1、陈南男2

1. 浙江科技学院

2. 杭州市西湖区纸点和山大树科技工作室

以植物纤维为主体的现代化造纸过程涉及复杂而多样的化学应用，如何对其进行全面高效的管理，是造纸工作者们普遍关心的问题。然而这一领域难度极大，一直以来鲜有重大突破。本报告基于为“全面造纸化学管理”服务的理念，首先介绍造纸化学应用基础研究领域的现状、存在的不足，以及可以深入进行的课题，以期有更多交叉学科领域的科研人员共同参与研究并取得突破性成果；然后针对造纸化学领域人才比较缺乏因而更需加强培养的现实，介绍我们在重点加强结构化思维的培育与运用（包括全面思考模型、知识体系构建模型、知识点重述模型、案例模型，以及科研进度管理工作上可综合运用的实验原始记录结构化思维、科研团队文化建设聚焦模型等），以及为培养国际化人才而进行的双语教学方面的实践；报告最后对造纸化学领域的最新科研动向进行介绍 (重点如泡沫助力的纸张成型与化学品添加，DNA技术在造纸微生物控制方面的应用等)，以期为本领域的创新发展提供借鉴。

关键字 造纸化学，基础研究，全面管理

分类：主题 E 其他生物质资源的开发和利用

415

**生物基酚醛树脂载银微纳米球的构建及其应用**

姜炜坤、张硕、刘玉

齐鲁工业大学

银纳米粒子（Ag NPs）因其独特的物理和化学性质被广泛应用于能源、催化和医学等领域。其中，Ag NPs的大小及其分布是影响其功能和应用的两个重要因素。然而，由于Ag NPs的聚集效应，制备小尺寸、均一且单分散的Ag NPs是一个挑战。本论文利用单宁酸的自聚合特性，提出一种单宁酸包覆儿茶酚-甲醛树脂（TA-CFR）纳米球的方法，并将其用于制备超小尺寸和高负载量的Ag NPs（TA-CFR@Ag）。在该工作中，TA-CFR纳米球中丰富的多酚结构，使其可以作为绿色的还原剂实现银离子（Ag+）到Ag NPs的高效转化，其负载的Ag NPs尺寸仅为7.5 nm，负载量高达61.5 wt.%。与此同时，极小尺寸及高负载量的Ag NPs暴露出大的比表面积，使TA-CFR@Ag复合材料具有优异的催化性能，其催化还原4-硝基苯酚的速率高出对照组近10倍。同时，TA-CFR@Ag复合材料还具有高的抗菌活性，能有效地抑制大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的生长。此外，单宁酸涂层使树脂球表面产生高的电荷（Zeta电位高达-65.5±1.9 mV），最大限度地减少了Ag NPs的聚集，并增强了Ag NPs的可重复使用性和稳定性。该工作对生物基酚醛树脂载银纳米球的绿色合成提供了新思路，同时对拓展纳米材料的应用领域具有重要意义。

关键字 单宁酸；银纳米颗粒；催化；抗菌

分类：主题 E 其他生物质资源的开发和利用

417

**木材结构启发的木质素纳米凝胶缓释栓塞剂用于肝癌介入治疗**

郑泽

华中科技大学

木质素废弃物的研究与利用是生物质资源综合利用的新兴之路和重要组成部分。然而，木质素结构的复杂性使其在诸多研究中往往作为配角添加剂而存在。随着木质素高值化应用平台的不断发展与提高，木质素在高端材料领域崭露头角，其具有的结构优势亦得到了重视。我们基于以上目标回归本源，将木质素结构在木材细胞壁中的机械支撑和疏水作用的天然特性与临床医学中肝癌介入治疗的具体要求相结合，设计得到了理想的木质素基栓塞纳米凝胶（Figure 1）：一方面木质素高分子提供了栓塞剂的刚性骨架以具备长期栓塞特性，而异丙基丙烯酰胺的接枝改性使其兼具优异的流动性便于术中操作；另一方面通过与木质素的非共价π-π堆叠相互作用，本研究实现了抗肿瘤药物 （阿霉素，DOX） 的高载药量 （99.5%）并表现出良好的缓释性能，同时我们也讨论了不同木质素结构衍生得到的纳米凝胶的性能差异。本研究旨在开发理想的木质素新型栓塞材料用于临床治疗，并为木质素在医学领域的应用开启新征程。

关键字 木质素、纳米凝胶、经动脉化疗栓塞、智能响应聚合物

分类：主题 E 其他生物质资源的开发和利用

421

**碱浸渍对菁竹茎秆微观结构及纸张性能的影响**

梁依、吉兴香、董航、田中建

齐鲁工业大学

原料短缺长期困扰我国造纸行业，“固废进口禁令”的实施进一步加剧了这一危机。拓展造纸原料资源，寻找优质的植物纤维原料，尤其是我国资源丰富的非木材植物原料，并创制与之匹配的绿色制浆方法，是解决造纸原料“卡脖子”的有效途径[1]。菁竹是一种新培育的亚灌木状草本植物，耐盐碱、耐旱涝、抗病虫，可在黄河三角洲盐碱地大量种植。以菁竹为原料，探究了不同条件低碱处理对菁竹微观结构及机械制浆性能的影响。实验结果表明，在不同用碱量和温度下处理原料，菁竹茎秆的微观有不同程度的改变，随着用碱量的增加以及浸渍温度的提高，菁竹茎秆微观表面结构破损和内部结构“崩塌”程度随之增大；表面覆盖的蜡质层破损严重，蜡质层对药液的阻碍降低，有利于药液渗透进原料内部；当用NaOH用量为8%，浸渍温度为90℃，浸渍时间20 min时，所得纸浆成纸的抗张指数、撕裂指数和环压指数分别可达到33.01 N·m/g、3.17 mN·m2/g、10.48 N·m/g，纸张质量较好，可达到普通包装纸的质量标准。

关键字 菁竹 碱浸渍 微观结构 物理性能

分类：主题 E 其他生物质资源的开发和利用

424

**生物酶处理对竹子过氧化氢机械浆物理性能的影响**

曲嘉新、吉兴香、田中建、杨桂花、马浩、李风凤

齐鲁工业大学

      碱性过氧化氢机械浆（APMP）具有制浆得率高、废水污染物少、药品使用量低[1]等优点，但也存在白度不稳定，造纸物理性能差等问题，使其应用受到一定的限制，而增加一段生物酶[2]处理能够有效的解决这些问题。探究了竹子碱性过氧化氢机械法制浆的浸渍处理条件，分析竹子组分及纤维特性，研究了不同条件下碱性过氧化氢机械浆的性能，以及木聚糖酶处理对竹子 APMP 浆料性能的影响。竹子预浸渍处理时采用 4：1 的液比，在 80℃的温度下处理 1 小时的效果最佳，浸渍液中氢氧化钠用量为 5%，过氧化氢用量为 3%。在木聚糖酶处理中，取 25 IU/g 的酶用量时对制浆过程影响最优，此时反应温度为 50℃，反应最佳时间为 60 min。

关键字 竹子 碱性过氧化氢机械浆 生物预处理 木聚糖酶

分类：主题 E 其他生物质资源的开发和利用

445

**低共熔溶剂辅助生物酶预处理对红麻机械浆性能的影响**

丁文凤、吉兴香、田中建

齐鲁工业大学（山东省科学院）

红麻是一年生草本韧皮纤维作物，纤维素含量高，木质素含量低，是优良的制浆造纸原料。机械法制浆具有绿色、高得率、成本较低等优点，但也存在纤维易损伤、尺寸不均一、原料适用性差等不足。预处理可以打破木质纤维素内部稳定结构，使其在机械作用下更容易解离，降低纤维表面损伤，改善浆料性能。本研究以去皮红麻杆为原料，采用低共熔溶剂（DES）辅助生物酶预处理+机械磨浆制备生物机械浆，对预处理前后原料微观结构形态和浆料性能进行表征，同时探究DES对生物酶作用效率的影响。结果表明，DES预处理有利于生物酶作用的发挥；DES辅助生物酶预处理能够大大提高红麻杆的成浆性能，未预处理的红麻杆在机械作用下不能成浆；经DES辅助纤维素酶和木聚糖酶处理后浆料成纸的环压指数、撕裂指数和抗张指数分别为11.47 N·m/g、1.33 mN·m2/g、1.84 N·m/g，经DES辅助木聚糖酶和脂肪酶处理后浆料成纸的环压指数、撕裂指数和抗张指数分别为10.26 N·m/g、1.47 mN·m2/g、1.94 N·m/g，各指标均达到或超过瓦楞原纸优等品标准。

关键字 低共熔溶剂，生物酶，红麻，生物机械浆

分类：主题 E 其他生物质资源的开发和利用

457

**碱处理对全棉秆化学机械浆性能的影响**

谢照勇、吉兴香、田中建、马浩、刘姗、郝肖

齐鲁工业大学（山东省科学院）

棉秆木质部的纤维细胞含量比草类原料和毛竹高，非纤维细胞含量与阔叶木相近，是一种优质的造纸原料[1]。机械法制浆保留了大部分半纤维素和木质素，得率高，纤维长，但机械法制浆的纸张强度较低。有研究表明杨木的自水解可以促进化学机械浆后续的碱浸渍[2]。机械法制浆纤维素纤维经碱处理，纤维素含量上升，机械性能增强[3]。因此，探究了碱处理用碱量和处理时间对全棉秆化学机械浆的影响，通过分析处理液的组分、样品的微观结构、纸浆性能，探究碱处理的用碱量和温度对纸浆性能影响的机制。实验结果表明，适当增加用碱量和碱处理温度可提高打浆效率和纸张的物理性能，但可导致得率和纤维质量降低。用碱量为5%时处理效果较好，此时撕裂指数、环压强度指数、抗张指数和耐破指数分别为5.87 mN·m2/g、11.22 N·m/g、35.37 N·m/g和1.61 kPa·m2/g；温度为120℃时效果较好，此时撕裂指数、环压强度指数、抗张指数和耐破指数分别为5.76 mN·m2/g、37.93 N·m/g、11.02 N·m/g 和2.34 kPa·m2/g。

关键字 棉秆，化学机械浆，碱处理，纸浆性能

分类：主题 E 其他生物质资源的开发和利用

494

**聚乙烯基醚材料的合成及应用**

廖赛虎

厦门大学

聚合物组成结构的精准调控对材料的高性能化、功能化、智能化等至关重要。聚乙烯基醚材料具有原料来源广泛、可生物降解等优点；近十年，如何发展高效可控的阳离子聚合方法来实现聚乙烯基醚材料的精准合成越来越受到关注。在此背景下，过去五年我们致力于基于有机小分子催化的阳离子聚合方法的开发：一方面，通过有机小分子光催化剂的开发，发展了时空维度可控的阳离子聚合方法；另一方面，基于空间限域阴离子调控策略，通过大位阻手性有机小分子布朗斯特酸催化剂的开发，发展了乙烯基醚的高立体选择性阳离子聚合方法；为高性能和功能性聚乙烯基醚材料的开发及应用研究奠定了基础。

关键字 聚乙烯基醚；阳离子聚合；立构规整性；光控聚合；立体选择性聚合

分类：主题 E 其他生物质资源的开发和利用

500

**双金属MOFs衍生物负载杂多酸的合成及催化制备**

**生物柴油**

张秋云\*，程劲松，张玉涛

安顺学院 化学化工学院，贵州 安顺 561000

[sci\_qyzhang@126.com](mailto:sci_qyzhang@126.com)

随着经济的快速发展，与环境和能源有关的问题已成为全人类面临的重大挑战，寻求可再生能源、构建高效复合催化材料、推动绿色催化技术的转型升级对解决能源危机和环境问题具有重要意义[1-2]。基于此，采用Ni、Zr双金属有机框架（NiZr-MOF）为载体材料应用于杂多酸（HPW、HSiW）的固定，合成得到的前驱体通过自模板牺牲法在适当的热解条件下衍生得到多孔双金属氧化物（NiZr-O）负载杂多酸复合催化剂，通过一系列技术手段对复合催化剂的物理化学性能进行了表征，数据显示，所得复合催化剂具有多孔结构及高的酸性，且通过热解生成了杂多酸—NiZr-O活性界面。同时，对复合催化剂催化油酸与甲醇酯化制备生物柴油进行评估，结果表明，在最优条件下，其酯化反应转化率可达95.2%；此外，复合催化剂可循环使用9次，保持着良好的重复使用性，其研究结果可望为工业上设计新型绿色复合催化材料及连续化生产新能源提供理论和技术参考。



Figure 1. TEM images of HPW@NiZr-O (a) and HSiW@NiZr-O (b).

参考文献：

[1]Kim K, Suh Y, Ha J, An J, Lee U. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2023, 173: 113122.

[2]Vaidyanathan V K, Saikia K, Senthil Kumar P, Rathankumar A K, Rangasamy G, Ganesh Dattatraya Saratale. Bioresource Technology, 2023, 378: 128975.

分类：主题 E 其他生物质资源的开发和利用

515

**基于香草醛的生物基咪唑及其单组分环氧树脂**

犹阳

贵州大学

聚氨酯是由多异氰酸酯与多元醇聚合而得的一类聚合物材料，其种类繁多，应用范围广，全球年产量在2000万吨以上，被誉为‘第五大塑料’。目前生成聚氨酯所用原料大多为石油基化学品，其资源不可再生性问题给聚氨酯材料产业的可持续发展带来挑战。同时，聚氨酯高度易燃，且燃烧过程释放有毒气体，改善其防火安全性是推动其应用的关键问题之一。木质素是自然界中储量仅次于纤维素的第二大天然高分子，经催化转化可提供多种生物基化学品，其中又以香草醛的产率最大。本文中，我们通过香草醛与DOPO的加成反应合成了生物基含磷二醇，FTIR与NMR测试结果表明目标产物的成功制备；以此生物基含磷二醇为原料，可制备含磷量可调控的生物基硬质聚氨酯材料，其阻燃等级可达到V-0级，极限氧指数可达38.9%。此外，我们还发现DOPO的引入会改变聚氨酯中氢键的缔合形式，部分有序缔合氢键被转变为无序缔合氢键，使得聚氨酯材料的韧性与强度得到改善。本文提供了一种有效的生物基阻燃聚氨酯制备策略，可以为聚氨酯材料的可持续发展和性能优化提供一定参考。

关键字 聚氨酯；DOPO；阻燃改性；香草醛

分类：主题 E 其他生物质资源的开发和利用

516

**多尺度甲壳素/壳聚糖材料设计与性质研究**

张丽华、谢海波

贵州大学

甲壳素是自然界中含量仅次于纤维素的一种天然多糖，而壳聚糖是甲壳素脱乙酰的产物。甲壳素和壳聚糖具有毒性低、生物相容性好、可生物降解性、可螯合金属离子等优良性能，在多个领域表现出巨大的潜在应用价值。以甲壳素/壳聚糖作为生物质原料通过均相溶解加工途径构筑新型环境友好材料已经成为提高甲壳素/壳聚糖附加值的重要研究思路。本工作采用离子液体和γ-戊内酯组成的有机电解质体系为溶剂，成功实现了难溶性甲壳素和壳聚糖在其中的均相溶解，系统表征了甲壳素溶液的溶液流变学性质，通过物理再生的氢键诱导过程成功制备甲壳素膜材料，并通过nano-SiO2的交联作用以及吸湿引起的凝胶化作用成功制备了高电导率、耐低温的壳聚糖/nano-SiO2有机离子液体凝胶，并将其应用于超级电容器。基于壳聚糖在具有功能性基团的稀酸水溶液中的溶解，制备了具有抗菌性的水溶性壳聚糖聚离子液体膜、具有抗冻性及高离子电导率的壳聚糖聚离子液体/聚丙烯酰胺双网络水凝胶以及巯基功能化的壳聚糖水凝胶珠。另外，通过ARGET-ATRP方法制备了醛基功能化的甲壳素纳米晶，系统研究了聚合动力学及功能性应用。

参考文献：

[1] Sheng H.L., Zhang L.H.\*, Xie H.B.\*, et al. Green Chem., 2023, 25: 3046-3056.

[2] Zhang L.H. Xie H.B.\*, et al. Int. J. Biol. Macromol., 2023, 230: 123182.

[3] Zhang L.H. Xie H.B.\*, et al. Cellulose, 2023, 30: 3837-3852.

分类：主题 E 其他生物质资源的开发和利用

519

**木质素氧化偶联及其对染料的吸附研究**

陈沁，彭畅，谢海波\*

贵州大学材料与冶金学院，贵州省贵阳市花溪区贵州大学 邮编：550025

hbxie@gzu.edu.cn

木质素是由苯丙烷衍生结构通过C-C键和C-O键连接而成，是自然界中含量最为丰富的可再生芳香族聚合物，为了提高木质素综合性能并拓展其工业应用范围，采用化学或生物途径对其进行改性成为了木质素高值化利用研究热点[1]。其中，酶催化木质素氧化偶联改性，由于其反应条件温和而备受关注[2]。但酶催化存在选择性低、对溶剂耐受性差等问题，极大限制了酶催化木质素氧化偶联改性的应用。本研究选取环境友好的有机高价碘作为催化剂，实现对木质素的氧化偶联，通过FTIR、HSQC、31PNMR和GPC对改性前后的木质素进行表征；并将其用于灿烂绿染料的吸附。结果表明，改性后木质素羟基含量和苯环上C-H含量显著降低，生成了大量醌类结构，且分子量略微增大；氧化偶联改性后的木质素对灿烂绿的吸附能提高，并且吸附量随着氧化偶联改性程度的提高而增大。

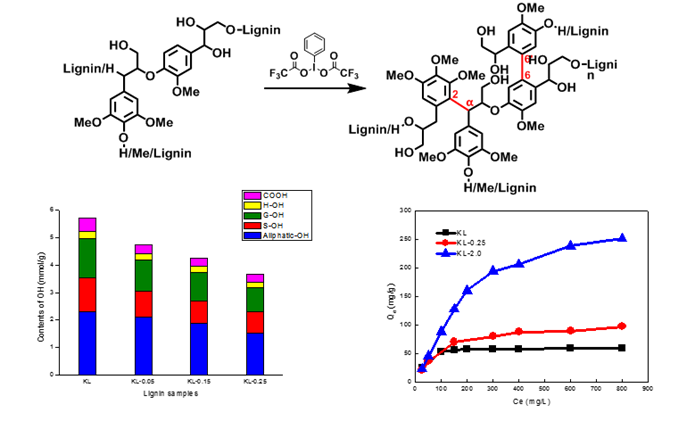


Figure 1. Oxidative coupling of lignin with hypervalent iodine reagent.

参考文献：

[1]Li, C.Z., Zhao, X.C., Wang, A.Q., Huber, G.W., Zhang, T., Chemical Reviews 2015, 115, 11559-11624.

[2]Gouveia S., Fernandez-Costas C., Sanroman M. A., et al. Bioresour. Technol., 2012, 121, 131-138.

分类：主题 E 其他生物质资源的开发和利用

524

**甲壳素和壳聚糖绿色新溶剂及其抗菌新材料**

蔡杰

武汉大学

甲壳素是含量仅次于纤维素的天然高分子，也是最丰富的海洋生物质资源。甲壳素经过强碱或酶脱乙酰化处理后可得到壳聚糖。甲壳素和壳聚糖具有诸多理化性质和优异的生物活性、生物相容性、生物降解性，在材料、能源、健康、环境等领域有广泛的应用前景。然而，由于现有溶剂体系的局限性，甲壳素和壳聚糖尚未得到有效开发和利用。我们率先提出并实现甲壳素和壳聚糖在KOH/尿素水溶液中的快速溶解，通过跨尺度结构表征研究甲壳素和壳聚糖的多级结构转变，以及甲壳素和壳聚糖与溶剂的相互作用，阐明去溶剂化-插层溶解新机理。进一步，通过分子设计均相合成出两亲性阳离子甲壳素和壳聚糖抗菌新材料，探索其潜在的生物医学应用。基于KOH/尿素水溶液的绿色新溶剂将成为甲壳素和壳聚糖功能化的基础。

参考文献

[1] J. Huang, Y. Zhong, L. Zhang, J. Cai, Macromolecules, 2020, 53, 5588

[2] J. Huang, Y. Zhong, L. Zhang, J. Cai, Green Chem., 2021, 23, 3048

[3] J. Huang, Y. Zhong, A. Lu, L. Zhang, J. Cai, Giant, 2020, 4, 100038

[4] H. Xu, Z. Fang, W. Tian, Y. Wang, L. Zhang, J. Cai, Adv. Mater., 2018, 30, 201801100.

[5] H. Xu, F. Xie, Y. Lu, P. Wei, J. Cai, ACS Appl. Bio. Mater., 2021, 4, 5461

[6] F. Xie, L. Jiang, X. Xiao, Y. Lu, R. Liu, W. Jiang, J. Cai, Small, 2022, 18, 2104885

关键字 甲壳素，壳聚糖，绿色溶剂，溶解机理，抗菌材料

分类：主题 E 其他生物质资源的开发和利用

530

**丝蛋白基界面超薄膜**

邵正中

复旦大学

有机超薄膜是一种具有宏观尺寸和纳米级厚度的薄膜，具有独特的光、电、热和力学性能。其中，有机超薄膜因其固有的柔韧性、表面化学丰富性、易于功能化以及多重刺激响应性等特性，引起了广泛关注。然而，现有的制备技术在精细调控其结构以优化“结构-工艺-性能”的关系方面仍然受到限制，因此难以制备出大面积的高质量有机超薄膜。

本报告将介绍了一种利用丝蛋白与溶菌酶复合制备超薄膜的方法。通过对复合溶液中蛋白质的结构及聚集体的尺寸等进行实验表征及理论模拟，证明了正是在静电相互作用、疏水相互作用等的驱动下，两种蛋白质发生共组装，其中纳米级组装体在体相和界面之间聚集至达到动态吸附平衡，从而在界面形成完整的超薄膜。此超薄膜可以大面积制备，也可以自支撑独立存在，厚度约 50 nm 时平均杨氏模量可高达 6.7 GPa，是现有报道中杨氏模量最高的蛋白质基超薄膜。本报告还将介绍这类丝蛋白基界面超薄膜的功能化应用。

分类：主题 E 其他生物质资源的开发和利用

532

**基于生物基原料合成可循环高分子**

朱剑波

四川大学

由于质轻、价廉、易加工、耐用等诸多优点, 高分子材料已经成为现代社会不可或缺的必需品。目前，高分子材料生产主要依赖化石资源，绝大多数使用后难以降解和回收利用，造成严重的环境污染和资源浪费。近年来，利用生物基原料，通过单体结构设计，发展新型高性能可回收聚合物，构建“单体-聚合物-单体”的闭环生命周期，被认为是实现高分子材料可持续发展的潜在手段之一[1]。本次会议将介绍我们利用生物基原料设计合成可循环高分子方向的研究进展，包括：1）利用呋喃、萜烯、马来酸酐等生物质原料合成可降解聚碳酸酯[2-3]；2）利用水杨醛、水杨酸等原料合成高性能半芳香性可循环聚酯[4-5]；3）单体结构与聚合反应活性以及聚合物解聚的关系[6]。同时，本次会议还将对未来可循环高分子设计策略与发展方向进行讨论。

参考文献：

[1] 蔡中正, 刘野, 陶友华, 朱剑波， 化学学报, 2022, 80: 1165

[2] W. Zhang, J. Dai, Y.-C. Wu, J.-X. Chen, S.-Y. Shan, Z. Cai, J.-B. Zhu, ACS Macro Lett. 2022, 11: 173.

[3] Y.-C. Wu, H.-Z. Fan, W. Zhang, M.-Y. Wang, Z. Cai, J.-B. Zhu, Macromolecules 2022, 55: 9232.

[4] Y.-M. Tu, X.-M. Wang, X. Yang, H.-Z. Fan, F.-L. Gong, Z. Cai, J.-B. Zhu, J Am. Chem. Soc. 2021, 143: 20591.

[5] H.-Z. Fan, X. Yang, J.-H. Chen, Y.-M. Tu, Z. Cai, J.-B. Zhu, Angew. Chem. Int. Ed. 2022, 61: e202117639.

[6] Y.-M. Tu, F.-L. Gong, Y.-C. Wu, Z. Cai, J.-B. Zhu, Nat. Commun. 2023, 14: 3198.

分类：主题 E 其他生物质资源的开发和利用

533

**多酚功能材料**

顾志鹏\*，李乙文

四川大学高分子科学与工程学院，成都，610065

[guzhipeng2019@scu.edu.cn](mailto:guzhipeng2019@scu.edu.cn)

天然多酚是一类在自然界中广泛存在于植物之中具备着重要生理功能的化合物，然而其稳定性与功效性的不足成为了其广泛应用的挑战。我们的研究立足于多酚丰富的物理化学性质，采用大分子化与功能集成策略实现其稳定性与功效性提升。将天然多酚通过酶促聚合、氧化还原聚合及聚合物后修饰等手段大分子化，能够实现其光、热及氧化还原稳定性的提升，在防光、成像、应对慢性炎症疾病上显著提升多酚的效果。而将天然多酚与活性基元（氨基糖苷、去铁胺、山椒素等）通过席夫碱、迈克尔加成、硼酸酯键、主客体识别等集成构筑的多酚功能材料可以有效提高天然多酚与活性分子的稳定性，也可以提高它们在应对具体应用场景时的效率。如天然多酚与氨基糖苷通过席夫碱与迈克尔加成反应构筑的纳米材料，不仅提高了两者的稳定性，更合理地将天然多酚通过群体感应效应抗生物被膜的能力与氨基糖苷的抗菌能力集成起来，更好实现抗生物被膜抗菌效果，提升牙周炎疾病疗效；将天然多酚与去铁胺药物分子通过硼酸酯键相互作用偶联后进行聚合，实现了循环稳定性与铁清除功效的提升，在出血性脑卒中起到更好的保护效果；将天然多酚与植物提取物活性分子山椒素通过简单的化学偶联后组装，能够显著提升光稳定性、耐水性及光防护效率，更好的应用于皮肤性疾病中。

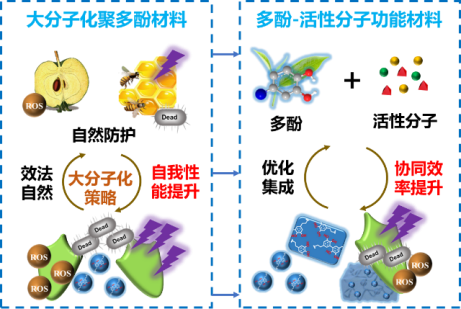


图1 多酚功能材料的大分子化与功能集成策略

参考文献：

[1]Zhu F., Zhong J., Hu J., et al. Carrier-Free Deferoxamine Nanoparticles against Iron Overload in Brain, CCS Chemistry‚ 2023‚ 5: 257-270.

[2]Cao H., Yang L., Wu H., et al. Versatile Polyphenolic Platforms in Regulating Cell Biology, Chemical Society Reviews‚ 2022‚ 51: 4175-4198.

分类：主题 E 其他生物质资源的开发和利用

543

**苎麻纤维素一步法提取及 DES 的回收利用**

苎麻纤维素纤维是一种常见的天然纤维，具有高强度和优异的生物降解性。[1-4] 苎麻原 麻中含有大量胶质（20%~30%），在纺纱加工前最大的问题是充分去除苎麻表面的胶质， 得到性能优异的精干麻。[5,6] 传统的苎麻脱胶方法存在着流程长、耗能高、严重的环境 污染等问题。[7] 因此，开发高效、低成本、无污染的新型脱胶工艺具有重要的社会和生 态价值。本文研究了一种高效环保的低共熔溶剂（DES）苎麻脱胶方法。脱胶过程可以 在 160°C、2.5 h 的 DES 中一步煮沸完成。与传统的碱性脱胶方法相比，这种新方法保 持原有的纤维素的物理性质和化学结构去除大部分非纤维素成分。此外，DES 可以实现 循环利用，同时仍保持较好的脱胶效率。脱胶液中木质素和多糖等副产品可成功分离， 有利于实现循环经济和可持续发展。DES 脱胶法为苎麻纤维的提取提供了一种实用的替 代方法。

参考文献： [1] Jiang W, Song Y, Liu S, et al. A green degumming process of ramie. Ind Crop Prod 2018, 120: 131.  [2] Qu Y, Qin Z, Zhang R, et al. High-efficiency and recyclability of ramie degumming  catalyzed by FeCl3 in organic solvent. Carbohydr Polym 2020, 239: 116250. [3] Meng C, Hu J, Yu C, et al. Evaluation of the mild Mg (OH)2-AQ aided alkaline oxidation  degumming process of ramie fiber at an industrial scale. Ind Crop Prod 2019, 137: 694– 701.  [4] Meng C, Yang J, Zhang B, et al. Rapid and energy saving preparation of ramie fiber in  TEMPO-mediated selective oxidation system. Ind Crop Prod 2018, 126: 143–150. [5] Cheng L, Duan S, Feng X, et al. Ramie-degumming methodologies: a short review. J Eng  Fiber Fabr 2020, 15: 155892502094010. [6] Li Z and Yu C. The effect of oxidation–reduction potential on the degumming of ramie  fibers with hydrogen peroxide. J Text Inst 2014, 106: 1. [7] Li Z and Yu C. Effect of peroxide and softness modification on properties of ramie fiber.  Fiber Polym 2014, 15: 2105.

分类：主题 E 其他生物质资源的开发和利用

543

**纳米甲壳素的构效调控与功能应用**

刘明贤，何韵晴，林晓莹，罗丙红，周长忍

暨南大学化学与材料学院，广东广州，511443

甲壳素作为天然高分子材料，广泛存在于甲壳类生物体内，具有生物活性、生物相容性、可持续性、生物降解性和低致敏性。然而其分子之间作用力强，难通过常见的材料加工方式处理，使其利用度不高。通过自上而下的方法将甲壳素直接加工转化为纳米甲壳素不仅保留了甲壳素的固有结构特征，还具有纳米尺度上的特性，例如其在分散介质中的胶体特征，可将其作为构建新兴材料的基元。本工作主要介绍了纳米甲壳素的制备方法及其在水分散介质中的胶体性质和自组装性能的研究。纳米甲壳素作为典型的一维棒状纳米颗粒，可作为许多聚合物的增强填料，通过表面改性也可以制备成功能材料。对纳米甲壳素进行了定向冷冻、氢键和离子键双驱动、化学接枝等的构效调控，使其在载药、水处理、食品包装、传感器和相变材料等方面获得了潜在的应用。

分类：主题 F 天然高分子功能智能材料与器件

9

**纤维润胀提高纸基锂离子电池隔膜的循环性能**

李薇、李政蒿

广西大学轻工与食品工程学院

众所周知，在锂离子电池中纸基隔膜由于其固有的微米级孔径而存在电池短路的风险[1-3]。在本研究中，我们对剑麻纤维进行丙酰化改性，并通过湿法造纸工艺制备了纸基电池隔膜。利用改性纤维在电解液中的溶胀作用来调节纸张的孔隙结构。扫描电子显微镜和X射线计算机断层扫描图像显示，吸收电解液后的改性纤维发生了明显的溶胀，可有效缩小隔膜孔径。得益于改性纤维的高吸液率（817 wt%），该纸基隔膜离子电导率可达2.93 mS cm−1。7Li固体核磁共振谱和高斯模拟结果表明，纸基隔膜内形成的局部高Li+离子浓度区域及其对Li+离子的低吸收能（62.2 kcal mol−1）有利于Li+离子的传输。值得一提的是，丙酰化改性减少了纸基隔膜羟基所引起的Li/LiFePO4半电池副反应，提高了电解液吸收和保存能力，纸基隔膜表现出了宽电化学稳定窗口（5.2 V）和优异的循环性能（在0.5 C下循环100次后容量保持率为96.6%）。该研究策略将为高性能生物基电池隔膜的设计提供新的视角，以促进清洁和可持续能源经济的发展。

参考文献：

[1] Zhenghao Li, Wei Wang, Xinmiao Liang, Jianlin Wang, Yonglin Xu, Wei Li. Journal of Energy Chemistry 2023, 79: 92

[2] Jianlin Wang, Chunyu Wang, Wei Wang, Wei Li, Jingcheng Lou. Chemical Engineering Journal 2022, 428 (15): 132604

[3] Wei Wang, Zhenghao Li, Haibo Huang, Wei Li, Jianlin Wang. Chemical Engineering Journal 2022, 445 (1):136568

关键字 纸基隔膜；锂离子电池；电化学性能；丙酰化

分类：主题 F 天然高分子功能智能材料与器件

25

**面向介电电容器的纤维素基复合电介质材料**

胡欣、朱宁、郭凯

南京工业大学

介电电容器作为间歇产生的可持续能源的高效存储转换设备，在新能源技术领域发挥着不可替代的作用。具有高储能密度的介电材料是介电电容器的核心。高分子材料由于具有质轻、柔韧、易于加工等特点，是理想的介电材料。然而，已规模化使用的介电高分子材料，如双向拉伸聚丙烯(BOPP)，一方面由于介电常数较低，储能密度有限(<3 J/cm3)；另一方面，石油基高分子的制造与废弃物处理，使得资源与环境的矛盾日益突出。因此，亟待开发新型可持续高储能介电材料。纤维素作为产量最丰富的天然高分子具有可持续、热稳定性优异、生物相容性强等优势，受到了学术界与工业界的广泛关注。纤维素基材料自身介电常数有限且难以溶于普通溶剂，因此，本文选择氰基功能化改性纤维素氰乙基纤维素(CEC)作为基体材料，与具有高介电常数的钛酸钡(BaTiO3)纳米颗粒（BTNPs）进行复合，以制备具有高储能密度的纤维素基介电纳米复合材料。CEC基体中的氰基可以赋予基体材料更好的介电常数，同时使基体溶于有机溶剂便于浇筑制备介电薄膜材料。复合材料界面对其性能具有决定性作用。为了提高BTNPs在CEC的相容性，对BTNPs进行了表面包覆聚多巴胺(PDA)制备了m-BTNPs与CEC复合得到m-BTNPs/CEC复合材料，考察了BTNPS的含量对复合材料介电储能性能的影响，并与未经表面改性的BTNPs与CEC复合得到的BTNPs/CEC进行对比。研究发现，相较于未改性的BTNPs，同样填料含量下的m-BTNPs在CEC基体中的分散更加均匀，减少了由于填料团聚所导致的缺陷。同时表面包覆的PDA可以显著的抑制漏导电流和介电损耗，提高材料的储能性能。在优化条件下，5 wt%-m-BTNPs/CEC的击穿场强可达441 MV/m，在该电场下储能密度达到5.21 J/cm3，是商业化介电材料BOPP储能密度的2倍。本文将为纤维素基高储能介电材料的开发提供思路。

关键字 氰乙基纤维素 介电电容器 电介质 复合材料 储能密度

分类：主题 F 天然高分子功能智能材料与器件

29

**多功能性纤维素基导电纱线的制备及其可穿戴应用**

侯宇振、李元昊、宋广杰、张军

中国科学院化学研究所

       电子纺织品（E-textiles）在可穿戴电子设备和实时医疗监测中具有重要意义。目前可以兼具实用性、多功能性、易于加工的制造工艺仍然存在挑战，如可放大制备、环境耐用性和成本问题。再生纤维素纤维作为一种可持续的纱线，已被尝试克服这些挑战。然而，迄今为止，加工挑战阻碍了导电纤维素纤维（CCY）的发展。我们报告了一种基于绿色离子液体工艺制造CCY的水凝胶连续浸涂策略。纤维素纤维通过紧凑、均匀的银纳米线（AgNWs）网络功能化，并进一步涂覆PEDOT:PSS钝化层，以在潮湿环境中保持高度稳定的电性能，确保CCY的可靠性和实用性。钝化层通过PEDOT:PSS和纤维素纤维之间的交联反应产生，使用（3-缩水甘油基氧基丙基）三甲氧基硅烷（GOPS）作为交联剂，CCY保持了纤维素纤维和AgNW网络的性能，具有高机械性能和可调电导率。使用电脑刺绣机，我们可以生产一系列可穿戴的电子传感器，这些传感器可以对压力应变和温度等物理刺激做出响应。CCY有望实现可放大、绿色、成本高效的新型可穿戴传感器制造并集成到日常服装中。

关键字 纤维；纤维素；导电；加工

分类：主题 F 天然高分子功能智能材料与器件

37

**生物质基功能化碳材料催化生物质转化的绿色过程**

漆新华

南开大学

碳材料具有比表面积和孔容大、热和化学性质稳定、易于功能化等优点而在吸附、催化、能源存储等领域具有广泛应用。以来源于自然界广泛存在的天然生物质为前驱体制备的碳材料还具有含氧量高且可持续的优点。本论文中我们介绍了本课题组近年来在采用水热碳化、软模板自组装、改性Stöber以及溶剂蒸发诱导自组装等方法将葡萄糖、纤维素、木质素、单宁酸等生物质前驱体制备固体酸、负载金属的有序介孔炭等多种功能化碳材料的策略，并阐述了这些碳材料在纤维素和半纤维素及其衍生物催化转化中的应用，包括纤维素和半纤维素水解、水解糖及其产物的脱水、加氢、异构化等生物质炼制过程。研究结果对于基于全生物质的绿色炼制过程构建具有重要的意义。

关键字 生物质、碳材料、纤维素、半纤维素

分类：主题 F 天然高分子功能智能材料与器件

59

**纤维素纳米纤维/碳复合材料的单分散制备及其储能、吸波性能研究**

王延青

四川大学

以超长碳纳米管为代表的新型纳米碳材料具有优异的导电、导热和力学性能，以及以纤维素纳米纤维为代表的多糖高分子具有的网状结构，高比表面积和数目众多的羟基，但其自身高度聚集的特性限制了其物理化学加工，限制了二者的实际应用。本课题组利用独特的分散工艺结构设计，研发出易于工业化规模制备的超长碳纳米管、纤维素纳米纤维的单分散/稳定技术。以此为基础，开发出了超长碳纳米管/纤维素气凝胶复合材料，具有良好的电磁波吸收性能和可回收特性。

同时，纤维素纳米纤维丰富的活性位点有利于无机物的包覆、生长，将纤维素复合材料制备出的纤维素/无机盐复合材料经过高温热处理和活化处理得到分级多孔结构的新型碳基复合材料，可用于钠离子电池等领域。

关键字 纤维素纳米纤维；超长碳纳米管；电磁波吸收；钠离子电池

分类：主题 F 天然高分子功能智能材料与器件

63

**手性纤维素纳米晶体光子纤丝**

张福生、余佳奇、卿光焱

武汉纺织大学

       在可穿戴技术、生物传感和万物互联机遇的推动下，响应环境刺激的智能纺织品在医疗保健、体育和时尚领域受到越来越多的关注[1]。然而，它们面临巨大的机遇与挑战：1）用可降解生物材料制备智能纺织品，避免由一次性使用或寿命有限造成可持续发展的问题；2）多种刺激能够同时进行响应变色，并实现混合信息读取，用低成本制造满足多功能需求。

       纤维素纳米晶体（CNCs）是具有螺旋结构的手性光子响应刺激材料，极具绿色智能纺织品的应用潜力[2, 3]。通过管状几何约束CNC的自组装过程，打破高原-瑞利不稳定性导致CNC材料固有的成膜属性，连续地制备手性光子纤丝。基于光子结构的多维度光学属性（如结构色、干涉色和圆偏振光），实现交互式响应变色的智能纺织品开发：肢体弯曲导致的机械变化表现反射色偏移；皮肤出汗引起的湿度变化呈现干涉色变异；视觉差异性的选择性圆偏振光反射用于高级别防伪。基于绿色简单制造、多功能响应和生物可降解的智能纺织品设计赋能未来。

关键字 纤维素纳米晶体；手性；光子纤丝；智能材料；纺织品

分类：主题 F 天然高分子功能智能材料与器件

84

**甲壳素/钛酸铜钙复合膜的制备与介电性能研究**

牛富堃1、栗雪倩1、石竹群2、熊传溪1、杨全岭1

1. 武汉理工大学材料科学与工程学院

2. 武汉理工大学化学化工与生命科学学院

甲壳素是一种主要源自虾壳、蟹壳等废弃物的天然高分子，实现甲壳素的高值转化既可获得经济效益又可缓解环境压力。凭借自身的优异性能，甲壳素在介电储能领域有潜在的应用价值。聚合物-陶瓷复合电介质可以将聚合物的高柔性、高击穿场强与陶瓷填料的高介电常数相结合，可以更好的满足薄膜电容器轻量化、小型化、集成化的要求。本文以钛酸铜钙（CCTO）为填料，采用熔盐法和静电纺丝法制备CCTO纳米颗粒（CCTO NPs）和CCTO纳米线（CCTO NFs），超声分散至KOH/尿素水溶液中，进而溶解甲壳素并流延成膜。探究了不同比例、不同拓扑结构的CCTO对复合膜介电储能特性的影响，测试结果表明，含CCTO NFs的复合膜介电储能特性更为优异；过高CCTO添加量虽然可以提高复合膜的介电常数，但也会增加介电损耗并降低击穿场强。在3 wt.%的CCTO NFs添加量下，复合膜的介电常数为9.2（1 kHz），击穿强度达到410 MV·m-1，储能密度从纯甲壳素膜的4.3 J·cm-3提高至6.14 J·cm-3，远高于商用双向拉伸聚丙烯（BOPP）薄膜，可作为可生物降解介电储能材料使用。

关键字 甲壳素 钛酸铜钙 介电储能

分类：主题 F 天然高分子功能智能材料与器件

98

**基于超分子自组装构建纤维素基CO2响应增黏流体**

黄俊杰

四川大学

CO2响应增黏聚合物是一种在CO2刺激下能够自发增黏的智能材料，在石油生产、智能涂层以及碳捕集等领域有一定的应用潜力。目前，通过阴阳离子材料共混制备CO2响应增黏流体，是一种简易且低成本的策略。羧甲基纤维素钠（CMC）作为一种天然聚阴离子，具有水溶性好、经济绿色等优点，其次，分子主链上大量的羧基使其具有与阳离子发生超分子作用的理论可能性。基于此，本文利用CMC与多胺化合物聚乙烯亚胺（PEI）共混来构建CO2响应增黏流体。研究结果表明，该混合溶液在通入CO2后黏度明显增加（Fig. 1A），使用N2置换CO2后，黏度可恢复，证明其具有良好的CO2开关性（Fig. 1B）。随着PEI含量的提高，体系发生了“溶液-凝胶-分相”的三段式转变（Fig. 1C）。体系增黏机理为：CO2溶于水后形成的酸性环境使得PEI中的胺基发生质子化生成季铵盐，与CMC通过静电相互作用形成物理交联网络；当PEI过量时，过交联会使体系脱水而分相。本工作为构建CO2响应型纤维素基增黏流体提供了一种简易策略。

关键字 羧甲基纤维素钠；CO2响应增黏；超分子自组装

分类：主题 F 天然高分子功能智能材料与器件

110

**纳米纤维素基电活性材料及其在能量储存与转换中的应用**

杨全岭、包江锴、胡洋、宋毅恒、熊传溪、石竹群

武汉理工大学

能源、资源与环境是当今世界面临的重要问题，寻求简单有效、绿色环保的方法开发出高性能的天然高分子基能源材料具有重要意义。纤维素是地球上含量最为丰富的天然高分子，它来源广泛、价格便宜、环境友好、可再生、可生物降解，日益引起人们的重视。尤其，利用TEMPO（2,2,6,6-四甲基哌啶-1-氧自由基）表面催化氧化法可以高效分离出单根天然纤维素微纤，从而制备出可以水相单分散的纤维素纳米纤维 (TOCN)。该纤维素纳米纤维具有尺寸均一（~3 nm宽）、高长度 (1‒3 μm)、高模量 (30‒150 GPa)、高强度 (2‒10 GPa)、高比表面积 (~800 m2 g−1)、低热扩展系数 (0–6 ppm K−1)、低热传导系数（可低于空气）等优点[1]。我们详细研究了纤维素纳米纤维及其复合材料的电活性（介电、压电、摩擦电）和纤维素纳米纤维基碳纳米纤维的电化学性质，探究了它们在柔性薄膜电容器、超级电容器、锂电池、压电/摩擦电纳米发电机等能量储存与转换方面的应用[2-5]。结果表明这些纳米纤维素基电活性材料和器件具有优异的性能，显示出广泛的应用前景。

关键字 纤维素纳米纤维，介电薄膜电容器，超级电容器，锂电池，压电/摩擦电纳米发电机

分类：主题 F 天然高分子功能智能材料与器件

133

**纤维素/碳纳米管纤维结构调控和动电机理研究**

吴凯、陈靖雨

四川大学

基于动电效应的湿电发电纤维可以通过编织、混编，以及图案化设计等集成到日常穿戴的衣物中，为实现智能电子织物的实际应用提供了有效途径。然而水分子与固体表面间的相互作用受到低的载流子浓度和离子与固体表面间距离较远的限制，湿电发电纤维存在直流电源供应受限的难题。受启发于自然界中的植物蒸腾过程，报告人课题组开发了一种具有可编织性且可设计性的持续自供能纤维素/碳纳米管复合纤维，108根纤维通过串联或并联编织进柔软的织物中，足以驱动一台电子计算器。随后，向复合纤维中引入多孔结构，从而增强毛细作用驱动的水传输过程，实现高效湿气发电。研究发现水传输速率、载流子数量、湿度梯度以及内阻是影响纤维输出电能的关键。孔径的增加将提高纤维水传输能力，但将导致其力学性能显著下降。因此，向纤维表面引入沟槽仿生结构，在保持其力学性能的基础上，进一步提高水传输能力，从而得到高性能纤维素/碳纳米管复合纤维。综上，我们制备了高性能的持续自供能可穿戴纤维，并揭示了其自供能机理，为湿电发电纤维的制备开辟一条新的思路。

关键字 纤维素，碳纳米管，动电效应，水传输，孔结构

分类：主题 F 天然高分子功能智能材料与器件

146

**基于细菌纤维素的能量转换材料**

石志军、陈坤、杨光

华中科技大学

随着第四次工业革命的迅猛发展，人们对现代先进材料提出了便捷化、智能化等多项要求，开发研究绿色、可降解、生物相容性能量转换材料具有重要的意义，将引领人们的生活方式走向更加功能化、信息化、人性化和智能化。细菌纤维素（Bacterial Cellulose, BC）是一种微生物合成的天然水凝胶，具有良好的生物相容性，在生物医学方面得到广泛研究和应用。BC上丰富的羟基赋予了其强大的化学反应活性，为其通过化学改性作为高性能能量转换材料提供了理论基础。我们以BC为绿色可降解的基质材料，通过掺杂、共沉淀等方法复合导电纳米材料、磁性纳米颗粒，分子铁电体等，赋予了BC摩擦产电、电磁产电、压电性能等，构建了系列环境友好性的高性能能量转换材料，在能量收集与转化、自供电传感器、人机交互、智能监测、柔性可穿戴电子设备方面具有良好的应用前景。

关键字 细菌纤维素，摩擦产电，电磁产电，压电，能量转换

分类：主题 F 天然高分子功能智能材料与器件

148

**金属预配位策略构建环境友好型智能水凝胶及其应用研究**

卢凌彬、王聪聪、牛晨熙、符倩

海南大学

水凝胶在仿生皮肤和柔性传感器领域具有重要的应用价值。然而，由于成本昂贵、合成过程复杂、相互作用弱、生物相容性不佳、环境不友好等原因，这类水凝胶不能稳定地发挥作用。天然多糖高分子是一类自然界储存丰富、可再生的资源，被广泛应用于污水处理、生物医学、食品工程和人工智能等领域。我们提出了利用金属预配位方式实现可逆共价配位键和动态非共价氢键的双机制共同驱动的策略，以环境友好的纤维素衍生物为原料设计和构建系列环境友好的智能水凝胶。获得的智能水凝胶具有优异的自愈性能、力学性能和抗疲劳性能，同时还显示出优异的自粘附性能以及稳定的导电性，能够检测和区分各种人体运动，甚至不同的字母发音和脉搏。这些优异的性能为其在仿生皮肤和柔性传感器领域的应用奠定了坚实的基础。

关键字 羧甲基纤维素，自愈合水凝胶，导电水凝胶，智能响应性材料，柔性传感器

分类：主题 F 天然高分子功能智能材料与器件

154

**磁驱可编程纤维素-氧化石墨烯多层执行器及手性光学加密**

李嘉骐、周昊、于骁、韩星尘

吉林大学

纤维素纳米晶是溶质型手性液晶基元，具有可再生和生物相容性等优势，利用蒸发诱导自组装形成自支撑一维光子晶体薄膜，其对于光的手性调控能力会随着入射光属性的变化而发生改变。在这个工作中，我们搭建了测量反射光偏振态的光学测试系统，测试了不同入射光属性下纤维素纳米晶薄膜的偏振态调节能力。同时我们引入了磁敏感组分，设计了可以由二维薄膜转变为三维形体的可编程图案，以及一个具有环境伪装变色能力的磁驱动爬行机器人，机器人可以将圆偏振信息存储并进行加密编译。本工作阐述了偏振态与入射光属性的对应关系，同时也为偏振光学加密提供了一种新的思路。

关键字 纤维素纳米晶；磁驱动执行器；偏振态；手性光学加密

分类：主题 F 天然高分子功能智能材料与器件

160

**纤维素压力传感器的制备与性能调控**

吕昂、陈敏章、万慧雄、张继鹏

武汉大学

大力开发资源丰富且绿色环保的天然材料已经成为柔性、便携电子器件领域的重要研究内容，这也是实现社会可持续发展目标的前提条件和基础保障。纤维素作为世界上最丰富的可再生天然高分子资源，具有无毒、低成本、可再生性、生物降解性、环境友好性、热稳定性和化学稳定性等特点，在多个领域尤其是柔性电子器件方面受到重点关注与研究。

借助高效的季铵碱水溶剂体系，本工作构建了一系列纤维素离子导电凝胶，进而以纤维素离子导电凝胶组装纤维素压力传感器。从聚集态结构的角度出发，本工作采用多种策略调控纤维素凝胶的聚集态结构，优化纤维素压力传感器的性能，并探讨其在健康监控、人机接口等领域的应用。相关成果有望推动高性能和坏境友好的柔性电子器件的设计和开发。

关键字 纤维素，传感器，聚集态结构，季铵碱

分类：主题 F 天然高分子功能智能材料与器件

162

**具有高力密度、灵敏度和稳定性且高透明度的可由湿度和红外光驱动的致动器**

李轶男

福建农林大学

由于透明致动器在战术显示器、光学开关、变焦镜头等方面的潜在应用，它们受到了研究人员的极大关注。在这项工作中，我们设计并开发了一种高度透明的基于纤维素的致动器，由再生纤维素薄膜（RCF）和疏水的聚四氟乙烯（PTFE）两层薄膜组成，它是通过使用简单的溅射方法在RCF薄膜上生长PTFE薄膜而制造的。RCF/PTFE致动器对湿度和红外光驱动反应都表现出很高的灵敏度，这可以归因于RCF和PTFE之间的热膨胀和吸湿性膨胀差异。RCF表面的O型等离子体蚀刻大大改善了致动器的稳定性。通过控制环境湿度和红外光照射，可以实现致动器的双向致动，弯曲角度在14秒和10秒内分别从0°变化到360°。数值模拟表明，RCF/PTFE致动器的灵敏度和应力比石油基致动器高一个数量级以上，这可归因于纤维素的独特吸湿效应。所获得的致动器可能在智能窗、仿生机器人、光学设备、传感和伪装领域有潜在的应用。

关键字 致动器；纤维素；透明；溅射；等离子体蚀刻

分类：主题 F 天然高分子功能智能材料与器件

167

**生物质材料在超级电容器领域的应用**

熊传银、王天旭、张永康

陕西科技大学

生物质资源是可再生的资源，在合理保护和利用的情况下，可以永续利用，这对生物质资源在绿色能源存储领域的高值化开发和应用，具有重要的社会价值和现实意义。因此，如何利用生物质及其衍生物来设计、构筑高性能、绿色及可持续的储能材料是拓展高附加值生物质资源应用的关键。报告将介绍几种基于不同的生物质资源来设计和构筑高存储性能的超级电容器电极材料，包括：以法国梧桐絮为原材料，设计构筑石墨烯包裹的碳微米管复合材料用作高性能超电的电极材料；基于天然木材设计构筑具有高强度、可塑形、自修复和形状记忆特性的高性能超电存储复合电极材料；基于非碳化的方法设计构筑木材、纳米纤维素基高性能的超电复合电极材料；基于丝网印刷和电化学的方法设计构筑可图案化定制的一体化无隔膜纸基高性能超电储能器件。这些工作为新结构、高性能、绿色可持续生物质基复合电极材料的设计、制备及应用提供了一些可资借鉴的新思路和切实可行的方法。

关键字 生物质资源; 绿色能源存储; 自修复; 电极材料; 超电储能器件

分类：主题 F 天然高分子功能智能材料与器件

173

**纳米纤维基医用功能材料的设计及其应用**

何辉1,2、陆勤1,2

1. 广西大学轻工与食品工程学院

2. 广西清洁化制浆造纸与污染控制重点实验室

由于人体周期性排尿，用于治疗膀胱肿瘤术后伤口的灌注型水凝胶会迅速流失，从而导致药物治疗时间短、疗效不佳，严重阻碍了伤口的愈合。因此，开发一种不易流失和可持续释放药物的新型灌注型水凝胶对于膀胱肿瘤术后伤口的治疗具有重要意义。本研究以pH和近红外响应基团修饰的纤维素纳米纤维(CNF)为基体，并将其与磁响应开关Fe3O4纳米颗粒和温度响应开关Pluronic®F-127进行组装，制备了一种智能纤维素纳米纤维(CNF)基磁性三维（3D）纳米水凝胶，其纳米网络结构可实现对丝裂霉素（300 mg/g）和吲哚菁绿（30 mg/g）的高效负载，且该水凝胶可在外部磁场的作用下长时间停留在膀胱内壁并释放药物。此外，该水凝胶不仅具有良好的抗菌性能、细菌生物膜消除能力、抗肿瘤活性，而且可以通过光热-光动力联合疗法促进伤口的愈合，表明该水凝胶在膀胱肿瘤术后感染伤口愈合领域具有广阔的应用前景。

关键字 纤维素纳米纤维；智能；多刺激响应；磁性；水凝胶

分类：主题 F 天然高分子功能智能材料与器件

174

**石墨烯和碳纤维杂化材料制备**

卫涛

Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

碳纤维具有优良的力学性能，高拉伸强度，高模量以及出色的高强度重量比，使其成为主要的增强材料应用于航空航天，能源，汽车等诸多高科技领域[1]。然而，大多数的碳钎维的制备涉及昂贵的聚丙烯腈，尽管相对廉价的聚氯乙烯和聚乙烯醇也被尝试于碳纤维的合成，然而所得到的碳钎维机械性能差，这限制了其在上述领域的广泛应用[2,3]。因而低成本制备碳纤维是本领域的下一步研究目标。 在这里，我们发展了一种基于石墨烯掺杂的方法用于有效制备高强度碳纤维。 由于同为碳材料的石墨烯和碳纤维具有很高的相容性，将石墨烯溶液涂覆在碳纤维表面，然后通过焙烧恢复石墨烯的结构和性能。我们的实验结果表明，与传统的聚丙烯腈基碳纤维相比，少量的石墨烯掺杂所得到的石墨烯/碳纤维杂化材料的强度提高了两倍，杨氏模量提高了一倍。 辅以理论计算，该类复合材料性能提升是源于石墨烯通过促进有利的边缘化学和聚合物链排列来改变微观结构。

关键字 石墨烯，碳纤维，杂化材料

分类：主题 F 天然高分子功能智能材料与器件

180

**纤维素摩擦电材料设计与应用**

聂双喜、王双飞

广西大学

在低碳经济下化工绿色发展趋势的推动下，先进木质纤维功能材料在分布式能量收集与转化、自驱动传感等新兴领域发挥了重要作用。纤维素具备独特的多尺度结构、优异的机械性能和丰富的化学反应位点，可通过化学改性和结构工程实现纤维素摩擦电材料的定制。本研究通过解析木质纤维微组分微结构，明确了多尺度控制纤维素解离、提取与化学功能化的关键要点，阐明了羟基偶极子调控改善纤维素极化性能的机理，拓展了适用于纤维素极化性能调控的品质因数理论；揭示了纤维素润湿性对其极化性能的影响机制，提出了液-固界面传质的强化策略，构筑了仿生的纤维素功能材料。系列基础研究解决了纤维素材料结构与性能关系不明确的关键科学问题，实现了先进纤维素功能材料的定制与应用，为我国造纸行业可持续发展提供了有力的科学支撑。

关键字 纤维素；摩擦电材料；能量收集；自驱动传感；摩擦纳米发电机

分类：主题 F 天然高分子功能智能材料与器件

191

**自供电远程医疗用Ag增强木质纤维素摩擦电材料**

蔡辰辰、李许生

广西大学轻工与食品工程学院

自供电便携式传感器因其制作简单、使用舒适、美观等优点而备受关注，有望在未来的远程医疗中发挥重要作用。在这里，基于耦合摩擦电和静电感应效应，发展了一个由两片Ag增强型木质纤维素片（Ag-LCs）夹着一片穿孔的全氟乙烯丙烯共聚物(FEP)片的自供电传感器(Ag-LCs/FEP)。与通过共混引入的银基导电材料不同，这项工作采用简单的原位还原处理将银嵌入在木质纤维中，具有优良的分散性和稳定性。在木质纤维纸张中引入银粒子后，复合摩擦电材料的性能得到显著改善，这使得该传感器具有对气流穿透引起的细微振动变化高度敏感的摩擦电效应，不仅可以根据频率和强度的不同连续监测呼吸信号，还可以高效过滤亚微米颗粒物（98.30% ~ 99.70%）和抑制病菌作用(99.18%)等功能，同时保持相对较低的压降（76Pa）。基于该结构的优异性能，提出了一种呼吸防护-监测-诊断一体化系统，展示了木质纤维素摩擦电材料在健康管理方面的广阔应用前景。

关键字 木质纤维素、木质素、原位还原、纳米银颗粒、自供电传感

分类：主题 F 天然高分子功能智能材料与器件

203

**纤维素光学薄膜光散射性能的调控及光电器件应用**

方志强1、侯高远1、邱学青2

1. 华南理工大学

2. 广东工业大学

除了具有传统纸张的优点外，纤维素光学薄膜还呈现出可调的光散射性能（雾度），有望作为光学透明材料应用于光电器件（如太阳能电池、OLED等）。本报告首先介绍纤维素薄膜与光的相互作用；接着对两类纤维素光学薄膜的制备方法及其光散射性能进行了介绍；最后，探讨了纤维素光学薄膜在太阳能电池、晶体管、触摸屏等光电器件中的应用，以期推动光电器件朝着绿色低碳的方向发展。

关键字 纤维素薄膜，光散射性能，光电器件

分类：主题 F 天然高分子功能智能材料与器件

210

**粘附性纤维素复合凝胶界面耦合性热传递研究**

郝三伟、符庆金、杨俊

北京林业大学

    实时温度监测建立了智能设备与人体组织之间的直接通信，具有较高研究价值，最近的进展强调了在复杂的皮肤形变场景中通过保形附着的柔性表皮传感器进行连续高保真温度监测的概念。然而，这一目标的实现不仅依赖于柔性和类皮肤模量材料的研发以减少传感器与组织的力学不适配，而且还依赖于稳定的信号界面的持久依从性，防止动态皮肤监测过程中界面失效造成的信号干扰。本文通过将单宁酸包覆纤维素纳米晶体引入热敏性聚丙烯酰胺/聚(3,4-乙烯二氧噻吩)-聚苯乙烯磺酸网络，实现了柔性凝胶内聚力和粘附力平衡，导致了热敏凝胶与各种起伏基质的几何同步，维系了热响应人机界面的稳定性。

    文中揭示了无缝导热界面的热传递机制，开发了具有界面几何同步性的热敏性凝胶材料，实现了动态场景下的温度监测。有望推动粘附性水凝胶材料的研发，为生物质资源的高值化利用开辟新的途径，在热响应柔性电子、智能机器人和人机交互等方面具有广泛应用前景。

关键字 表皮传感器 水凝胶 纳米纤维素 界面耦合 粘附性 热响应

分类：主题 F 天然高分子功能智能材料与器件

213

**不同形貌纳米纤维素在功能材料方面的应用**

王超、黄勇、吴敏

中国科学院理化技术研究所

本文分别介绍了两种不同形貌的纳米纤维素在阻燃剂和传感凝胶的制备方面的研究进展(图1)。基于纤维素纳米纤维具有很高的长径比、大的比表面积和良好的分散性，我们在水系条件下，通过机械球磨法制备了农业废秸秆木质纤维素纳米纤维(LCNF)负载聚磷酸铵(APP)的绿色、高效阻燃剂(ALC)，并将其加入纸浆中制备阻燃纸。当ALC含量仅为10 wt%时，被点燃的纸张在远离火源后表现出自熄现象，极限氧指数可达36.4%[1]。二维的纤维素纳米片(CNSs)，具有横向的应力分散作用，与高分子网络相结合制备凝胶材料，有助于提高凝胶的机械强度和柔韧性。我们以Fenton试剂为引发剂，采用自由基诱导接枝法制备了CNSs增强柔性多键交联聚丙烯酸(PAA)水凝胶。二维CNSs的引入，极大地改善了PAA水凝胶的力学性能，因为它能有效地分散外界应力。基于该水凝胶的应变传感器具有稳定的导电性和应变灵敏度，在可穿戴应变传感器、电子皮肤方面具有潜在的应用前景[2]。

关键字 纤维素; 阻燃纸; 功能材料; 纤维素纳米片; 传感凝胶

分类：主题 F 天然高分子功能智能材料与器件

226

**具有可调LCST和UCST双重刺激响应的超强纤维素凝胶**

汪钟凯

安徽农业大学

刺激响应聚合物在多种领域的应用十分广泛[1]，纤维素衍生物普遍具有低临界溶液温度[2]（LCST），目前尚未发现具有上临界溶液温度（UCST）的水凝胶。通过铈离子引发接枝聚合，成功地合成了甲基纤维素接枝聚丙烯酰胺（MC-g-PAM）水凝胶，该凝胶将机械强度、低临界溶液温度（LCST）和高临界溶液温度（UCST）高效集成。在低温下，PAM与MC之间的氢键作用诱导UCST转变。在高温下，MC的疏水性促使聚合物出现LCST转变。MC-g-PAM水凝胶的UCST值低于LCST值（LCST>UCST），形成了水凝胶完全透明的“温度窗口”。利用不同的纤维素衍生物或加入不同浓度的NaCl，可以简便地改变透明的“温度窗口”。通过调节MC含量，可以控制水凝胶的透射率变化和机械强度。更重要的是，外加电压可以触发MC-g-PAM水凝胶的相变行为，以此精确调控凝胶透明度。此外，得益于强韧的机械特性使得水凝胶可以随意弯曲或挤压。这种兼具LCST和UCST类型转变和高机械强度的特殊双重刺激响应水凝胶有望在针灸器、软机器人和智能窗户等智能材料设计中广泛应用[3]。

参考文献：

[1] Ling SJ, Jin K, Qin Z, Li CM, Zheng K, Wang Q, Kaplan DL, Buehler, MJ. Combining In Silico Designand Biomimetic Assembly: A New Approach for Developing HighPerformance Dynamic Responsive Bio-Nanomaterials. Adv. Mater.2018, 30, 1802306.

[2] Park J, Pramanick S, Park D, Yeo J, Lee J, Lee H, Kim W. J. Therapeutic-Gas-Responsive Hydrogel. Adv. Mater. 2017, 29, 1702859.

[3] Zhou Y, Dong XX, Mi YY, Fan F, Xu Q, Zhao H, Wang SC, Long Y. Hydrogel smart windows. J. Mater. Chem. A 2020, 8, 10007 10025.

关键字 纤维素，水凝胶，LCST，UCST

分类：主题 F 天然高分子功能智能材料与器件

236

**纤维素基可持续先进功能材料**

陈胜、许凤

北京林业大学

高性能可再生材料的开发对于实现社会的可持续发展乃至净零碳排放至关重要。木质纤维素生物质作为地球上最丰富的可再生天然聚合物，主要由纤维素、半纤维素和木质素等物质组成，被广泛用于制备可持续功能材料。近来，我们开发了多种基于纤维素/木质素的可持续材料及装置并用于多种先进应用，包括能量收集/存储、传感和海水淡化等。例如，具有取向纤维素纤维和波纹结构的皱纹纸被用于制备高性能摩擦纳米发电机、各向异性应变传感器和高灵敏度压力传感器；纳米纤维素基透明薄膜和复合气凝胶分别应用于光管理和压力传感；通过常压干燥制备各向异性纳米纤维素气凝胶用于界面太阳能界面水蒸发。总之，基于可再生天然聚合物的可持续功能材料表现出优异性能和巨大潜力，有望替代石油基资源。在未来，木质纤维素生物质或将成为实现世界可持续发展的主导材料。

关键字 纤维素、功能材料、传感、能源、光热管理

分类：主题 F 天然高分子功能智能材料与器件

247

**静电纺有机/无机杂化复合纤维材料用于肿瘤治疗及MRI显像应用**

王林格

华南理工大学

静电纺丝技术是目前唯一能够直接、连续制备高分子纳米纤维的方法。同时，所得高分子纤维膜材料具有比表面积高、孔径可调控和通透性好的特点，使得静电纺纳米纤维成为纤维科学的前沿和研究热点。嵌段共聚物由于各嵌段具有不同的化学结构和功能，可通过自组装或特定加工手段形成高级聚集结构并在宏观上实现特定功能。将静电纺丝技术和嵌段共聚物自组装相结合，用嵌段共聚物纳米纤维为结构基础或模板，通过进一步的退火、交联、煅烧等加工手段，可以把嵌段共聚物的分子设计和结构功能拓展放大到宏观纤维膜材料的结构设计与性能调控上，因此具有一些独特的结构与性能。如嵌段共聚物在退火后形成的微相分离结构可在纤维表面的自组装形成的亲、疏水性结构等，并可在生物医用组织功能材料、分离膜、纳米传感器、电子材料等领域的产生特殊的应用。本工作通过上述静电纺丝、退火自组装等技术将嵌段共聚物（或有机高分子）与无机纳米粒子复合，有效调控有机/无机杂化复合纤维的结构及性能，制备出具有特殊拓扑结构和一定功能性的复合纤维支架，为生物医用领域的应用，如用于肿瘤治疗及MRI显像，提供应用思路和技术途径。

关键字 静电纺丝，功能/智能材料，复合纤维，肿瘤治疗，MRI显像

分类：主题 F 天然高分子功能智能材料与器件

255

**离子交联自愈纤维素基水凝胶电解质的构筑并用于低温柔性超级电容器**

杨云龙

湖南工业大学

随着便携式设备的快速发展，具有柔性和可拉伸的储能装置因其在不同应用中能够保持其固有的电化学性能而受到广泛的关注[1]。超级电容器具有功率密度高、循环寿命长、充放电速度快等优点，是一种重要的电化学储能装置[2]。基于水凝胶的超级电容器已经引起了人们的广泛关注，但将机械性能、自愈性、耐低温性和宽电压窗集成到单个水凝胶中仍然是一个挑战[3]。本文通过将纤维素基聚阳离子液体(Cellulose-PILs)与聚丙烯酸钠(PAAS)混合，在Na2SO4水溶液中浸润溶胀，制备了一种新型离子交联自愈生物基水凝胶电解质(Cellulose-PILs/PAAS/Na2SO4)。Cellulose-PILs和PAAS之间的动态静电相互作用和氢键赋予了Cellulose-PILs/PAAS/Na2SO4水凝胶优异的自愈性能，修复24 h后的自愈率可达92.1%。Na2SO4的引入提高了水凝胶的机械强度和离子电导率，同时也增强了水凝胶的耐低温性。此外，采用Cellulose-PILs/PAAS/Na2SO4-20水凝胶电解质的活性炭基超级电容器可以在25°C和-15°C下分别提供122.3和116.0 F g−1 (1.0 A g−1)的高比电容。因此，本研究为构建具有宽电压窗和可重复使用的超级电容器的生物基、柔性、自修复和防冻水凝胶电解质提供了一种新的策略。

关键字 纤维素聚离子液体, 水凝胶电解质, 自愈合, 超级电容器

分类：主题 F 天然高分子功能智能材料与器件

257

**纤维素纳米晶基机械致变色皮肤及其各向异性传感**

张莹莹、李嘉骐

吉林大学

光子晶体弹性体可以将抽象的机械信息转化为直观的颜色信息[1]，在机械传感器和软显示器中具有潜在的应用。我们报告基于手性向列型纤维素纳米晶弹性可拉伸复合材料，该材料在施加机械应力时表现出可逆的颜色变化。当拉伸或压缩时，无色材料保持其手性向列结构，但螺旋减小到可见光区域，导致纤维素纳米晶基弹性体着色。通过增加材料的伸长率百分比或增大压缩程度，结构颜色可以从近红外光区调整为蓝色区域。可聚合的水凝胶单体直接渗透到纤维素纳米晶膜骨架并通过原位聚合成功嵌入，突破了基于纤维素纳米晶的手性向列相薄膜脆弱的局限性。具有波纹面的纤维素纳米晶基薄膜提供各向异性机械变形、各向异性传感,展示纤维素纳米晶在多维可穿戴电子和智能机器人领域的潜在应用。

关键字 纤维素纳米晶，机械变色，各向异性，柔性传感

分类：主题 F 天然高分子功能智能材料与器件

272

**非对称组装纤维素基织物及其热管理应用**

张凯

西南大学

辐射控制的热管理技术因其低能耗、便利性和环境友好性而备受青睐[1]。然而，目前具有高辐射能力的功能织物只有单一的冷却或加热功能，且热辐射能力有限，这限制了其对动态的季节和天气变化的反应能力[2]。此外，石油基辐射织物产生白色污染和温室效应，阻碍了实现可持续的个人热管理。为应对这些挑战，本文基于纤维素材料和功能纳米材料的非对称化学组装，开发了一系列独特的非对称多模态热管理织物。这些织物在无外部能量输入的情况下同时实现了被动辐射冷却、加热、湿度调控和抗电磁干扰功能。该类织物聚焦于天然太阳光资源的高效利用，并可在冷却/加热或冷却/除湿模式之间切换，以适应动态的气候变化，为可持续的个人和室内温湿度管理应用提供了新的路径。例如，通过真空渗透-喷涂组装策略构建了一种集被动辐射冷却、加热和抗电磁干扰功能为一体的醋酸纤维素/皮革织物。该织物的冷却层具有高太阳反射率 (92.0%)和高红外辐射率(90.2%)，可提供高达13℃的日间亚环境辐射冷却，而加热层则具有高太阳吸收率(98.2%)，可实现34℃的良好被动辐射加热，并可通过焦耳加热进行有效补偿。此外，该织物的三维a-MWCNTs导电网络则可通过对电磁波的吸收实现35dB的电磁屏蔽有效值。

关键字 热管理，非对称组装，辐射冷却/加热，电磁屏蔽

分类：主题 F 天然高分子功能智能材料与器件

276

**纳米纤维素增强的离子导电水凝胶及其在超级电容器中的应用**

丁建森

陕西科技大学

化石能源的枯竭和环境污染引起了人们对环境友好型能源转换装置的密切关注。生物质基超级电容器成本低且可降解，在柔性可穿戴器件领域发展前景广泛。然而，目前基于各种生物质基天然高分子的凝胶电解质的强度较低，且无法兼具高导电率，因此基于生物质凝胶电解质的超级电容器难以投入实际应用。本文提出一种纳米纤维素增强的离子导电珍珠层水凝胶（CNF@Gel-nacre），该凝胶通过将纳米纤维素均匀的分散在凝胶珍珠层基质中，以高浓度无机盐溶液诱导产生相分离结构，实现了凝胶内部结构的紧密结合，表现出优异的机械性能（拉伸强度0.15 MPa、模量0.05 MPa、韧性1.3 MJ/m3、断裂伸长率2250%）、高导电率（0.47 S/m）及环境耐受性（-25 °C）。将其与活性碳电极组装成双电层超级电容器后，表现出高比电容及良好的循环稳定性。基于该凝胶电解质的超级电容器可用于可穿戴电子设备，适配人体皮肤的同时，也可以满足高强度的机械运动。

关键字 纳米纤维素；水凝胶；超级电容器

分类：主题 F 天然高分子功能智能材料与器件

283

**高灵敏植物纤维基柔性传感系统的制备及应用**

杜健、王海松

大连工业大学

随着人工智能以及物联网在现实生活中的逐步普及，可穿戴柔性传感器因其简单的制造工艺和成熟的信号处理技术引起了广泛关注。但是难以回收或降解的电子废弃物、较低的灵敏度和有限的检测范围严重阻碍了其实际应用。因此，可再生、可折叠、可降解、低成本、高灵敏度的植物纤维基柔性传感成为目前可穿戴器件领域的研究热点。然而，传统的植物纤维基材料自身的亲水性和低导电性极大地限制了在柔性传感器件领域的多功能化应用。基于此，通过结构设计改善植物纤维基传感器的灵敏度和导电性并应用于摩擦电纳米发电机、超级电容器和传感器组成的柔性集成传感微系统具有重要意义。首先，通过对人体皮肤结构进行全方位模拟，通过简单的“浸渍-干燥”工艺构筑了兼具“微裂纹”和“支架”结构的稳定导电层对应皮肤结构中具有信号接收和处理功能的真皮层[1]。以疏水型气相纳米SiO2的乙醇分散液作为疏水封装保护层，疏松多孔的无序植物纤维结构起到皮肤中皮下脂肪层的缓冲作用。设计的柔性传感器应用于电子皮肤时，可以轻松实现对人体运动时引起的空间应变信号精确采集。其次，为了修复传统的还原氧化石墨烯制备过程中形成的形态缺陷，设计了一种简单有效的利用碳化金属-有机骨架(CMOF)修复的新方法[2]。缺陷区域固定的CMOF充当了电子快速通过的桥梁，提高了还原氧化石墨烯对负载机械能的耐受性。含缺陷修补后的还原氧化石墨烯的植物纤维基水凝胶不仅具有良好的力学性能(如抗拉强度为195 kPa)和高电导率(2.42 S/m)，组装成摩擦纳米发电机、超级电容器和传感器器件时，展现出增强的电输出性能。该传感器具有较高的灵敏度(GF为14.68，响应时间短为40 ms)，能够有效识别复杂的人体活动，在较窄的范围内准确检测皮肤的温度波动。研究为植物纤维柔性导电材料在人机交互界面领域建立起一种用于组装可持续生物基传感器平台的普适策略。

参考文献：

[1] Tongtong Yun, Jian Du, Xingxiang Ji, Yehan Tao, Yi Cheng, Yanna Lv, Jie Lu, Haisong Wang. Carbohydrate Polymers 2023, 313: 120898.

[2] Jiaji Yue, Chao Li, Xingxiang Ji, Yehan Tao, Jie Lu, Yi Cheng, Jian Du, Haisong Wang, Chemical Engineering Journal 2023, 466: 143358.

关键字 植物纤维；高灵敏度；柔性传感

分类：主题 F 天然高分子功能智能材料与器件

288

**纸基微流控检测芯片的优化构建及应用**

田君飞、李琼阳

华南理工大学

       纸基微流控检测芯片是自2007年来逐步兴起的一种新型平台技术，在低资源配置地区的快速诊断检测中具有较大的应用潜力，可广泛适用于临床诊断、环境监测、食品检测等领域。纸基芯片并非是在检测灵敏度上媲美或者超越先进的大型分析诊断设备，而是在相对准确并且可接受的灵敏度范围内，在低资源配置的条件下实现快速分析、检测、诊断以及大规模筛查，满足世界卫生组织提出的ASSURED标准。尽管纸基芯片在其制造技术和检测技术等方面发展迅速，但是鲜有针对纸基纤维阵列，进行定制化设计，旨在构建优良纸基传感器的系统研究。在过去的十五年中，我们一直从事纸基检测与诊断器件的相关研究，在器件基材的设计、检测技术的优化、检测单元的合理构建、纸基的生物化学修饰、应用领域扩展等方面开展了系统性的研究工作，提高了检测的灵敏度、特异性和结果显示的均匀性，实现了从基础理论到产品样品的研究探索。

关键字 纸基微流控 快速检测 生物化学修饰

分类：主题 F 天然高分子功能智能材料与器件

318

**仿生设计微米-纳米分级纤维网络壳聚糖冷冻凝胶**

**及其应用**

齐鲁荷

武汉大学资源与环境学院

       具有超高可压缩性、弹性和压缩抗疲劳性的冷冻凝胶在组织工程、医用敷料、生物传感等方面有巨大的应用前景。纤维素、甲壳质/壳聚糖，丝素等生物质因其可再生性、生物降解性和生物相容性而成为制备冷冻凝胶的优良材料。然而，由于缺乏分层多级纳米结构的设计，开发具有极端力学性能的生物质冷冻凝胶仍面临巨大挑战。自然界中天然存在的多尺度微纳结构越来越多的受到材料设计者的关注，如多尺度的植物叶脉和蛛丝的网络结构。多尺度的微纳纤维网络结构为高弹性和抗疲劳性的凝胶材料设计提供了基础。       我们基于剪切流体诱导的微纳米纤维组装策略，在壳聚糖溶液中定向形成高长径比的壳聚糖微米纤维以及纳米纤维[1]。通过冷冻-解冻的方法，两种不同尺度的纤维可以受到冰晶生长的驱动自组装形成交错微纤维和纳米纤维的互连三维网络结构，无需冷冻干燥即可形成力学性能良好的壳聚糖冷冻凝胶（CMNF）。在这个多尺度网络中，纳米纤维起到连接微纤维的作用，提高了稳定性，而微纤维通过长程相互作用提高了 CMNF 冷冻凝胶的弹性。双尺度纤维的协同作用赋予 CMNF 冷冻凝胶优异的力学性能，包括超高极限应变（97%应变，50 次循环）、优异的抗疲劳性（3200 次循环压缩，60%压缩应变）和快速水触发形状恢复（小于 1 秒恢复）。在后续的工作中，我们还探究了获得的冷冻凝胶在可降解塑料泡沫包装材料[2]，以及医用止血辅料方面的应用[3]。

关键字 壳聚糖，冷冻凝胶，仿生，弹性，可压缩，止血，生物塑料

分类：主题 F 天然高分子功能智能材料与器件

327

**纤维素基水果生鲜可食用抗菌保鲜涂层**

崔玉倩、田卫国、张军

中国科学院化学研究所

水果和蔬菜由于保质期较短，容易因为脱水、质地退化、呼吸代谢等诸多原因发生 腐败变质，这不可避免地会造成经济损失。有效的水果、食品保鲜可以提升农产品质量、 延长货架期以及降低冷链运输成本。目前用来延长水果货架期的常用方法有水果打蜡、 冷藏、控制大气储存以及真空塑封等，但过量食用蜡无疑会损害人体健康。此外，上述 方案也会产生较高的成本以及对环境的负担。因此，水果涂层技术成为一种具有良好安 全性和未来前景的保鲜策略。

在此，针对水果腐败的多重原因，我们制备了一种基于纤维素乳液的高透明、可食 用微纳米复合涂层，该涂层由纤维素乳液、蒙脱土、阳离子纤维素衍生物、抗坏血酸组 成，可赋予涂层优异的阻氧、抗菌、抗氧化、可洗涤性能。实验结果表明：该涂层可以 有效延长水果的货架期，使水果具有更低的失重率和更高的硬度。该涂层具有制备简单、 使用方便、环保友好等优点，在水果保鲜领域具有很大的应用潜力。

关键字 纤维素；涂层；水果保鲜；抗菌

分类：主题 F 天然高分子功能智能材料与器件

328

**取向晶体纤维素纤维的超纳米流体离子电导性**

陈俊宇、王鑫、许燕浩、于凡超、刘新亮

广西大学轻工与食品工程学院

纳米流体广泛应用于海水淡化、能量转换和离子电路等领域，有序的通道结构可以改善纳米流体的离子传输性能。本研究以纤维素纳米晶(CNCs)为原料，通过自旋转微流体纺丝法制备了具有优异力学性能和导电性的纤维素纤维。自旋转微流体纺丝法使CNCs实现自旋转并形成稳定有序排列的凝胶纤维，从而增加纤维之间的结合，收紧了纤维通道，从而提高了离子传输性能。使得纤维素纤维具有优异的力学性能，其拉伸强度达到450 MPa，取向率为0.77。纤维素纤维在10-5M KCl溶液中的电导率达到了5.5 mS/cm，其优异的导电性使得将生物质材料应用于纳米流控器件成为可能。

关键字 纤维素纤维，定向纤维，纳米流体，微流体，离子电导率

分类：主题 F 天然高分子功能智能材料与器件

340

**离子对Ⅱ型纳米纤维素聚集态的影响**

许燕浩、蔡宽、张品乐、王鑫、陈俊宇、于凡超

广西大学轻工与食品工程学院

纳米纤维素晶须具有比表面积高，强度高，杨氏模量高，长径比大等优点。通过多价金属离子的扰动作用改变纳米纤维微观结构，引起纳米纤维链的构象变化，从而形成新的排列方式。传统CNC丝经光处理得到的CNC-Ⅱ具有较高的热稳定性，且金属离子的加入能使纤维Ⅱ型纳米晶须表面的双电子层破裂，金属阳离子与带负电荷的纤维表面形成离子键或配位键连接，使纤维发生聚集。本研究以18.5 wt%的NaOH处理和高压均质后的纳米纤维素晶须作为原料，向CNC-Ⅱ中加入不同浓度和价态的离子，金属离子的加入导致CNC-Ⅱ的Zeta电位减小，粒径尺寸增大，粘度提高，机械性能加强，热稳定性提高；阳离子对CNC-Ⅱ聚集或形成凝胶的粘度的影响：Al3+＞Ca2+＞Mg2+＞Na+；无机盐溶液对CNC-Ⅱ结晶度的影响：CNC-Ⅱ-AlCl3＞CNC-Ⅱ＞CNC-Ⅱ-CaCl2。本研究为今后的改性和Ⅱ型纳米纤维素在多功能纳米材料上的应用提供了理论参考。

关键字 Ⅱ型纳米纤维素晶须；离子浓度；离子价态；聚集态结结构

分类：主题 F 天然高分子功能智能材料与器件

345

**具有创面渗出液持续管理功能的纤维/海绵敷料的构建及其性能**

王义鑫、王昊俣、陆飞

西南大学蚕桑纺织与生物质科学学院，家蚕基因组生物学国家重点实验室 重庆

润而不湿的创面微环境可加速伤口愈合过程[1]。如图1所示，受毛细作用和蒸腾作用的启发，设计了一种三明治状的纳米纤维膜/多孔海绵复合敷料，能够可控、持续地将渗出液单向输送出创面，最终达到促进愈合的目的。第一层由经乙醇处理后的疏水性再生丝素膜构成，高吸水性的魔芋葡甘聚糖/壳聚糖海绵作为第二层提供泵送力量，第三层是负载有氧化石墨烯的亲水性醋酸纤维膜。电纺纤维膜独特的亚微米效应提供了高比表面积和高孔隙度[2]，可以模拟细胞外基质的框架结构，为细胞提供理想的生长环境[3]。当渗出液输送至顶部时，能迅速湿润并在醋酸纤维素膜上扩散，在近红外照射下通过光热效应快速蒸发[4]，其蒸发速率是自然蒸发的5倍，可实现渗出液的连续输运管理。动物实验结果证明该复合敷料相较于空白对照和商业敷料愈合质量更高。上述结果表明这种可调节的单向导湿敷料有望成为下一代临床敷料。

关键字 静电纺丝；伤口愈合；单向导湿；丝素蛋白

分类：主题 F 天然高分子功能智能材料与器件

354

**用于偏振加密应用的细菌纤维素波片**

于骁

吉林大学

波片是偏振光学系统的重要元件之一，广泛应用于圆偏振器、干涉仪和液晶显示器中，用于相位分离或补偿。纤维素是一种线性多糖，其各向异性的纤维素分子通过氢键组装成纤维素纳米纤维，该纤维也具有了固有的双折射特性，具有制成光学波片的潜力。由细菌代谢得到的纤维素称为细菌纤维素（BC），具有高结晶度、不含半纤维素和木质素等特点，具有较广泛的应用前景，然而其光学应用鲜有报道。我们对BC水凝胶进行湿拉，使其纤维丝获得了均一的取向，其Hermans序参数可达0.46；对拉伸过的BC填充环氧树脂并固化，使其获得了90%的高透明度。通过改变厚度和拉伸比，可以对其双折射光程差进行调控，进而使其半波延迟峰位在124nm-1020nm范围内可调。具有不同光程差的细菌纤维素波片对入射偏振光调节能力不同，使出射光具有不同的偏振态。由于在非偏振观察下没有区别，而在偏振片下观察时可看到亮暗的差异，可用于偏振加密应用。

关键字 细菌纤维素 波片 偏振加密

分类：主题 F 天然高分子功能智能材料与器件

356

**一种靶向复杂出血创面的智能止血材料**

史正慧、蓝广芊、谢瑞琪

西南大学蚕桑纺织与生物质科学学院

由自然灾害、事故等引起的急性大出血在世界范围内造成了大规模伤亡事件，及时有效的止血是首要关注的问题。[1]目前，大多数止血材料（纳米片/纳米纤维片、海绵、织物、凝胶或流动液体）主要应用于浅表血管损伤的止血，而难以有效控制深、窄、隐蔽或不可压缩的伤口出血，原因是止血材料无法精确接触/递送/穿透这些出血部位。[2]因此，复杂出血伤口的靶向止血仍然存在挑战。为此，本研究制备了一种由磁场引导的止血材料，用于向出血点靶向递送止血药物。智能止血材料以微孔淀粉作为载体，Fe3O4纳米簇作为驱动体系，牛血清蛋白作为载药媒介，凝血酶作为止血药物。动物实验表明，智能止血材料能定向进入狭窄弯曲的伤口通道，在肝“V”型以及“J”型伤口模型、股动脉V型伤口模型的止血时间分别为37、44以及152 s。此外，通过溶血率、细胞毒性、生物降解性等证实了智能止血材料优良的生物安全性。综上，本研究为复杂环境下出血创面的出血控制提供一种新的治疗思路。据我们所知，这是第一个关于磁引导递送止血材料至出血点的研究报道。

关键字 微孔淀粉，磁引导，靶向止血，复杂伤口

分类：主题 F 天然高分子功能智能材料与器件

359

**木质纤维素衍生炭电极材料及其电化学储能应用**

张文礼

广东工业大学

开发低成本的储能器件可以降低储能的度电成本（¥/kWh），实现电化学储能的大规模利用。开发低成本的电极材料是构建低成本储能器件的先决条件之一。工业木质素（包括碱木质素和酶解木质素）是制浆造纸和纤维素乙醇行业的副产物，且含碳量超过60%，适合用作低成本先进碳电极材料的前驱体。

碱木质素和酶解木质素的聚集结构导致难以通过直接碳化过程实现木质素炭结构的精准构筑。基于木质素分子自身特点、可以修饰的化学过程和聚集结构的调控等策略，我们实现了木质素基碳电极材料在形貌、微晶结构、孔结构和表面化学等方面的调控，为基于先进炭电极材料的储能装备开发提供参考。

关键字 木质纤维素，炭电极，电化学储能

分类：主题 F 天然高分子功能智能材料与器件

360

**壳聚糖/双醛海藻酸钠/多巴胺磁性水凝胶用于改善膀胱癌治疗的靶向给药系统**

陈乐民、邓学良、田梁义、谢积环、向易雷、梁欣、蒋林斌

广西大学

基于改善膀胱癌给药治疗的背景，在水凝胶给药治疗策略里面临着一些挑战：水凝胶粘附性不足，随着间歇性的泌尿排尿冲刷掉落，以及不存在靶向性导致药物利用率低下。为了解决这些问题，本文进行了壳聚糖/双醛海藻酸钠/磁性多巴胺水凝胶的制备、产物结构表征以及载药材料的给药性能研究。通过接枝、交联、复合等方法制备了靶向、壁粘附、控释的载药水凝胶材料。研究了多巴胺用量对载药水凝胶性能的影响。傅立叶变换红外光谱（FTIR）显示，在1530cm-1处有一个明显的吸收峰，表明多巴胺与壳聚糖/藻酸二醛钠通过C=N键交联；SEM显示水凝胶具有三维多孔互连结构。实验结果表明，该载药材料具有超过28小时的释药性能、器官内壁粘附性能、靶向性能、抗菌抑菌性能（98%）、生物相容性（99%）等。由于其优异的性能，所制备靶向水凝胶在药物递送和肿瘤治疗中具有巨大的应用潜力。

关键字 壳聚糖，海藻酸钠，多巴胺，粘壁性，水凝胶

分类：主题 F 天然高分子功能智能材料与器件

362

**透明度、高拉伸性、可回收的纤维素离子凝胶，具有良好的黏附性能并用于摩擦纳米发电机**

彭文暄、李秋娴、孙悦

广西大学

离子凝胶作为一种柔性导电材料越来越受到关注。但多数的离子凝胶都以引入牺牲键来耗散能量，在长期的拉伸后凝胶不可避免的会受到不可逆的疲劳损伤。此外，由于大多数的离子凝胶的不可逆的共价交联网络，导致其回收与再利用成为了一个巨大的挑战。本文报道了一种多功能的纤维素离子凝胶，其具有诸多理想性能，包括高透明度、高拉伸性、坚韧、可自愈、可回收、耐温性、高导电性。纤维素离子凝胶是通过TEMPO氧化纤维素纳米纤维、2-丙烯酰氨基-2-甲基-1-丙烷磺酸和丙烯酰胺在离子液体中相互纠缠，并通过光引发聚合而成的。线性聚合物与共价网络实现可逆的相互缠结，为凝胶提供了稳定的能量耗散机制。可逆的纠缠与丰富的非共价键相互作用，实现离子凝胶的回收性。基于含氟离子的离子液体能为凝胶提供良好的水稳定性，纤维素离子凝胶可应用于水下能量收集的摩擦纳米发电机。

关键字 离子凝胶；纤维素；摩擦纳米发电机

分类：主题 F 天然高分子功能智能材料与器件

383

**用于能源收集和污染控制的木材离子导体构筑**

**与器件**

Detao Liu、吴培琳、段雨龙、钱志云、陈永豪、罗瑶、沈浩宇、刘超城、李杨、崔杰东、暨文浩

华南理工大学

由于不可再生化石能源和资源的过度消耗，能源危机和环境污染问题日益受到世界各国的广泛关注。通过从树木对水和离子的输运机制出发，本课题组近些年来通过冷冻盐析、光聚合等策略构筑了新兴的木材固态离子导体，保留完整的自上而下的木材微通道并在细胞壁周围形成具有离子电荷、水分子或氧气等快速输运的纳米结构，具有在构建新型湿气产电或湿热产电器件用于可再生能源收集方面产生重要的影响，同时还可以用于固态电芬顿反应器高效率生产H2O2和羟基自由基(OH•)，持续降解气态或水体有机污染物。我们的新兴技术直接利用自然界中无处不在的水、木材和空气，发展可持续能源和环境材料，推进有望满足工业规模化实际应用和减碳减排的核心需求。

关键字 木材; 纳米纤维素; 离子输运；可再生能源；电芬顿

分类：主题 F 天然高分子功能智能材料与器件

385

**具有加密能力,可自修复,溶剂响应性纤维素纳米晶体/水性聚氨酯纳米复合材料**

薛锐、赵辉、安泽玮

广西大学

基于纤维素纳米晶体(CNC)的手性向列相结构材料被广泛应用于刺激响应和传感。光子晶体的微观结构是具有不同折射率的介质的周期性排列，CNC产生的胆甾型液晶可以选择性地反射圆偏振光，从而产生各种结构色。然而，CNC的硬度和脆性严重限制了其应用。本文将含动态共价二硫键的水性聚氨酯(SSWPU)与CNC结合，制备了具有自修复能力的柔性光子膜(FPFS)。结果发现，FPFS在拉伸、弯曲、扭转和折叠作用下表现出优异的韧性。FPFS表现出惊人的自愈效率，在室温下2 h内即可自愈。此外，当FPFS浸泡在常用的实验溶剂时，可以及时响应，产生可逆的颜色变化。此外，当用乙醇作为墨水在FPFS上书写时，得到的图案只有在偏振光下才能被观察到。这项研究为自修复、生物防伪、溶剂响应和柔性光子材料等领域提供了新的视角。

关键字 纤维素纳米晶，水性聚氨酯，柔性光子晶体，自修复，试剂响应，防伪

分类：主题 F 天然高分子功能智能材料与器件

400

**纳米纤维素基多层过滤膜的制备及其电磁屏蔽和热管理性能研究**

王露洁

武汉大学

随着无线通信大功率电子设备的加速发展，各种频率的电磁干扰和辐射威胁着人类的健康，还影响电子设备运行的可靠性和安全性[1]。针对这一现象，研究高效的电磁干扰屏蔽材料势在必行，灵活、轻便、坚固和耐用的特性对于下一代可穿戴和智能电磁干扰屏蔽材料至关重要，此外保持相对恒定的温度对人类的生存和电子仪器的正常工作也至关重要[2]。氧化石墨烯（GO）是具有优良的介电可调谐性能，且在水介质中具有良好的分散性和可加工性，已被广泛用作制备上述材料的纳米填料，碳纳米管（CNT）作为一维导电材料也经常用于复合材料中以增加材料的导电性[3]。本文，我们采用简便高效的交替真空过滤方法制备了厚度可控、机械强度可控、柔韧性可控、电导率优异的多层复合薄膜。GO和多壁碳纳米管（MWCNT）作为导电层赋予薄膜良好的导电性，表现出良好的电磁屏蔽效果。导电性能还赋予复合膜焦耳加热性能和光热转化能力，能够在几秒钟之内实现快速升降温，且具有足够的稳定性，可作为寒冷环境的有效能量补充。此外，利用纤维素纳米纤维（CNF）的还原性在复合膜中引入了银纳米颗粒（AgNWs），受益于AgNWs的特性，多功能屏蔽复合材料还具有优异的抗菌性能和更好的环境适应性，为可穿戴智能材料的健康问题提供保障。

关键字 纳米纤维素 氧化石墨烯 碳纳米管 电磁屏蔽 焦耳加热

分类：主题 F 天然高分子功能智能材料与器件

413

**纳米银-氮化硼桥接结构对纤维素导热复合薄膜性能的作用研究**

金玉洁、王培、宋娜、丁鹏

上海大学

5G时代对聚合物复合材料的导热性能提出了更高的要求，通过结构设计实现导热填料的取向排列并制备高性能导热复合材料成为国内外学者关注的热点 。我们通过水凝胶拉伸并结合热压后处理制备了具有多级取向结构的纤维素/氮化硼复合薄膜，并观察到了基体-填料的“协同取向”结构。在此工作基础上发现，通过原位生长纳米银颗粒在氮化硼纳米片间构建了“纳米银桥”，能够进一步提升纤维素基复合材料的导热率至48.22W·m-1·K-1（氮化硼含量为20 wt%，拉伸比为3，同时其表现出优异的力学性能。该工作为导热高分子复合材料的“结构设计-性能优化”提供参考。

关键字 纤维素；氮化硼；复合材料；导热；结构设计

分类：主题 F 天然高分子功能智能材料与器件

420

**木聚糖基纳米流控膜的构建及其渗透能收集**

**转换应用**

陈阁谷

北京林业大学

基于离子选择性膜材料的反向电渗析技术，可将盐度梯度的电化学电位差直接转化为电流，被认为是收集盐度梯度能量最具有前景的途径。聚合物与二维材料组装形成的纳米流控膜通过将盐度梯度的电化学电位差直接转化为电流的方式进行渗透能转换。但微米级聚合物纤维会在离子通道中缠绕，导致较高的内部传质阻力和较低离子选择性。本研究将制浆造纸工业溶解浆生产过程中的副产物（直链木聚糖）经羧甲基化改性转化成水溶性的羧甲基木聚糖纳米晶（CMX），并与二维材料MXene通过真空自组装的方式制备出具有低内阻和高力学强度的CMX/MXene纳米流控膜用于渗透能收集。研究表明，该纳米流控膜在机械性能（276.08 MPa）、离子输出功率（14.52 mW m-2）等方面优于纯MXene基复合膜及其他聚合物基材料，为传统工业纸浆造纸废料木聚糖在盐差产能等智能器件高值化应用提供新思路。

关键字 木聚糖，天然高分子，纳米流控，盐差产电，造纸副产物

分类：主题 F 天然高分子功能智能材料与器件

431

**银金属有机框架嵌入醋酸纤维素膜的抑菌性能和血液相容性研究**

肖晓雪、凌楚童、韦翠、周敬红

广西大学

在血液透析过程中，透析膜通常暴露在大量的水中，易导致细菌吸附形成生物膜，对患者健康构成威胁，因此透析膜的抑菌修饰是有必要的。但无机抑菌剂往往与透析膜基质相容性较差，导致抑菌剂脱落对人体健康造成危害。本工作通过单宁酸修饰银金属有机框架（Ag-MOF）制备T-Ag-MOF，再与醋酸纤维素和致孔剂聚乙烯吡咯烷酮（PVP）按比例共混，浸入含Fe3+的凝固浴中通过相转换法制膜。利用单宁酸(TA)对金属离子的强螯合力形成金属-多酚网络，以提高膜内添加剂的稳定性。测试了所制备膜的溶血率和抑菌性，结果表明所制备的膜材料能够胜任在医学透析领域的抑菌应用。

关键字 金属-多酚网络；银金属有机框架；醋酸纤维素；血液透析

分类：主题 F 天然高分子功能智能材料与器件

465

**纤维素纳米纤丝基异质结构电极**

田维乾

中国海洋大学

随着物联网的快速发展，急需进一步研发高性能的物联网远端感知设施，如应用广泛的电阻式应变传感器和微型柔性储能电源。提升上述器件性能的关键问题之一是研发相应的高性能力电耦合结构电极材料。二维材料由于具有独特的纳米尺度效应和面内层间的独特机械属性等，是其结构电极的理想活性材料之一。二维单层纳米材料在组装宏观结构电极时，极易出现再团聚和再堆叠的行业难题。基于此科学问题，我们在二维异质结构电极构筑中引入一维纤维素纳米纤丝（宽度在1.5-3 nm）作为结构因子，成功构筑了高力电耦合性能的异质结构电极（拉伸断裂强度高达500 MPa，电子导电性295 S cm−1），并系统表征了异质结构电极在能量存储、柔性电子、电渗析驱动等方面的应用。

关键字 纤维素纳米纤丝、异质结、结构电极

分类：主题 F 天然高分子功能智能材料与器件

471

**先进木质纤维炭材料**

彭新文

华南理工大学

木质纤维生物质为自然界中最丰富、可再生的有机碳源，立足“双碳”减排目标，拓展开发木质纤维资源是解决未来碳基能源催化材料与化学品大宗制备与可持续发展的重要途径。本次会议将分享报告人关于在先进生物质炭材料构筑与性能调控方面的研究进展。一是“自上而下”从木材生物质的天然结构出发，以生物酶、路易斯酸预处理、冷冻导向结合高原子经济性的单分散金属掺杂等方法，制备了一系列木质等级孔炭并研究其对锌空气电池两极催化反应、生物质电氧化、电合成氘代药物的催化性能。二是“自下而上”以制浆废弃物木质素磺酸、纳米纤维素等组分为碳骨架，通过纳米焊接、异质结制造、无机盐介导热解途径等提升木质炭在催化过程中的电荷/传质能力，制备了高比表面积生物质基柔性碳基催化材料，并系统研究了其在氧还原、水分解及生物质糖分子选择性光、电、热催化转化为有机酸中的应用；报告还将进一步探讨揭示了木质炭的碳质结构、电子结构和配位环境等理化特性与电化学活性的影响规律。

关键字 木质纤维，生物质炭，催化转化

分类：主题 F 天然高分子功能智能材料与器件

476

**MXene/纳米纤维素复合材料的流变特性及其溶液加工工艺研究**

周泽航、卢灿辉

四川大学

过渡金属碳氮化合物MXene是一类新兴二维纳米功能材料，在储能、电磁屏蔽等领域以得到了广泛研究，同时其丰富的表面官能团和优异的溶剂分散性使其适于溶液加工[1, 2]。然而，MXene分散液的加工流变性能难以调控，并且MXene较差的机械强度和柔韧性限制了它的应用[3]。本研究中我们采用一维纤维素纳米纤（CNF）与二维MXene纳米片结合制备复合浆料，研究了CNF对MXene分散液粘度、粘弹性等加工流变性能的影响作用关系，并优化制备了适宜刮刀涂布的MXene/CNF复合浆料。通过刮刀涂布法对复合浆料进行诱导取向制备得到具有高取向度的MXene/CNF复合膜，研究了复合材料在加工力场作用下的演变与组装行为，并通过广角X射线衍射（WAXD）和小角X射线散射（SAXS）测定了薄膜在截面方向的取向度。得益于紧密的排列与良好的取向结构，复合膜展现出超高的拉伸强度（281.7 MPa）与杨氏模量（14.8 GPa），以及优异的导电性。复合薄膜表现出了优异的电磁屏蔽和红外隐身性能本实验证实了通过引入外场剪切力能够实现对薄膜微观结构的调控，进而获得理想的取向结构，从而大幅提高复合膜的性能。本研究对MXene基复合功能膜的溶液加工和结构调控提供了新思路与新方法。

参考文献：

[1]         M. Carey, M. W. Barsoum. Mater. Today. Adv. 2021, 9: 100120.

[2]         W. Cao, F. Chen, Y. Zhu, Y. Zhang, Y. Jiang, M. Ma, F. Chen. ACS Nano. 2018, 12, 4583-4593.

[3]   J. Cao, Z. Zhou, Q. Song, K. Chen, G. Su, T. Zhou, Z. Zheng, C. Lu, X. Zhang. ACS Nano. 2020, 14, 7055-7065.

关键字 纳米纤维素；MXene；流变特性；结构调控

分类：主题 F 天然高分子功能智能材料与器件

482

**具有仿生微结构的纳米纤维素基柔性传感材料**

**的构建**

韦岚升1、吴正国1,2、袁齐鸿1、王小英1

1. 华南理工大学

2. 南京农业大学

当前集成的便携式柔性电子设备对材料提出了更高的要求。本研究以绿色、生物相容性好的纳米纤维素CNF为柔性基底，二维片层纳米材料Ti3C2Tx MXene为导电骨架，进一步引入天然阳离子多糖和生物微球模板，辅以双向定向冻干、真空辅助抽滤，构筑了具有仿植物管胞结构和豌豆荚结构的纳米纤维素基柔性复合材料。CNF丰富的羟基和MXene的表面官能团可以形成多种相互作用，阻止MXene片层自重堆积也增强了复合材料的机械性能。由CNF组成的柔性保护层对于维持仿生结构的完整具有积极作用，因此基于微纳结构设计所得到的纳米纤维素基柔性复合材料具有比普通的复合材料具有更高的灵敏度（268.7 kPa-1），更好的倍率性能（90.12%）以及出色的电磁屏蔽效率（约90 dB）。本研究制备的仿生柔性传感材料在多用途的可穿戴电子设备中具有很好的应用潜力。

关键字 纳米纤维素；MXene；仿生结构；压力传感；超级电容器

分类：主题 F 天然高分子功能智能材料与器件

490

**由天然木材制备类“叶片弹簧”结构的超疏水弹性体，用于压电纳米发电机**

吴桐1,2、卢芸2

1. 青岛大学

2. 中国林业科学研究院木材工业研究所

        近年来，具有自发压电特性的生物材料非常流行，用于从自然界中大量存在的机械能源进行发电。与传统压电材料如锆钛酸铅（PZT）相比，生物质压电材料具有可持续的环境优势，符合当今“双碳战略”的发展理念。木材是地球上最容易获得和完全生物相容的生物质材料，由于木质纤维素的压电特性，可以将机械能直接转换为电能，然而，由于天然木材弱的压电响应和低形变性，限制了其发展。在这里，我们通过聚焦于木材射线结构的调控，采用化学-热处理联用的方法对射线组织进行调控，保持了细胞壁结构的完整，开发了一种具有低成本、高度压缩性、超疏水的木质海绵，可承受1000次以上的压缩回弹。利用该木质海绵（15\*15\*15mm）的高度压缩性制备了木质压电纳米发电机，该发电机可以产生开路电压和短路电流是天然木材压电输出的70倍以上。并在反复压缩下保持稳定。我们的研究仅利用木材本身的压电特性，并未添加其它压电活性添加剂，在绿色可持续能源中具有发展潜力。

关键字 纤维素、弹性木、压电、绿色能源、生物相容

分类：主题 F 天然高分子功能智能材料与器件

495

**基于生物衍生离子弹性体的自修复双模态传感器**

崔钦科，张新星\*

高分子材料工程国家重点实验室，四川大学高分子研究所，成都 610065

\* xxzwwh@scu.edu.cn

生物相容性，多模态响应和自修复能力的一体化，是电子皮肤面向可穿戴与植入 式电子设备应用的客观需求。蚕丝蛋白和海藻酸钠等材料在柔性传感器领域已经展现出 独特的生物相容性的优势，利用生物质及其衍生物制备高分子智能材料及器件是未来电 子皮肤发展的重要途径之一。但在保持令人满意的机械强度和拉伸性的同时，生物衍生 电子皮肤要实现多模态响应和自修复在内的类皮肤功能的集成仍然是一个巨大的挑战。 本文针对天然高分子材料功能化开展研究，通过聚多巴胺对纤维素纳米晶表面改性进行 界面氢键构筑[1] ，研究填料物理网络和界面氢键网络的协同调控机制[2] ，开发了具有优 异力学强度和自修复效率的生物基离子弹性体，结合聚深层共晶溶剂固有的离子迁移和 花青素涂层的 pH 响应，实现了生物衍生高分子复合材料的强韧化、类皮肤功能化以及 生物友好特性，为医学诊断和医疗保健中的皮肤接触与植入式生物电子器件提供了新的 视角。

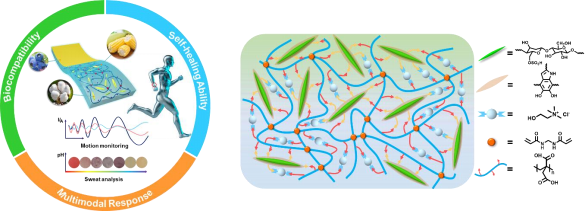


Figure 1. 生物衍生的自修复双模态传感器及界面氢键相互作用

关键字 生物基材料；离子弹性体；自修复；界面氢键；纤维素纳米晶

参考文献：

[1] Q. Cui, X. Huang, X. Dong, H. Zhao, X. Liu, X. Zhang. Chem. Mater. 2022, 34, 10778. [2] X. Qiu, Q. Cui, Q. Guo, T. Zhou, X. Zhang, M. Tian. Small 2022, 18, 2107164.

分类：主题 F 天然高分子功能智能材料与器件

496

**细菌纤维素导电气凝胶材料绿色制备及其压力传感应用**

邱晓艳 1 ，张新星 1,\*

1 高分子材料工程国家重点实验室，四川大学高分子研究所，成都， 610065

\*Email: [xxzwwh@scu.edu.cn](mailto:xxzwwh@scu.edu.cn)

在双碳国家战略需求背景下， 开发兼具生物相容性、绿色工艺、高性能的生物基柔 性压力传感材料至关重要，但目前仍存在挑战。细菌纤维素是一种微生物发酵合成的天 然生物基聚合物，具有独特的物理性质如高结晶度（可达 95%），精细网络织态结构， 大比表面积， 高抗张强度， 优于植物纤维数倍的弹性模量， 高生物相容性，尤其是自下 而上大规模合成等优势， 是制备生物基传感材料的优秀候选材料。基于此， 本研究利用 生物来源的抗氧化剂咖啡酸（CA）绿色还原氧化石墨烯（rGO）作为电活性填料， 在细 菌纤维素(BC)基体中构筑三维导电网络， 制备了一种复合生物质气凝胶传感材料 （rGO@BC）。由于这种三维多孔导电网络的高压缩回弹性和柔韧性，气凝胶响应压力 产生的微裂纹和导电骨架互连的协同效应使其具有高灵敏度 (13.89 kPa- 1)、超低检测限 (47.2 Pa) 、快速压力响应(120 ms) 、正负响应行为、机械耐疲劳性的优异综合性能， 可以 实时检测微小应变安全无害地监测人体生理活动。[1]本研究不仅为高性能柔性智能响应 器件提供新材料， 这种环境友好， 可再生的传感材料绿色制备策略还为生物基柔性电子 器件的开发提供了有效途径，有望推动皮肤接触式或植入式健康监测系统的蓬勃发展。

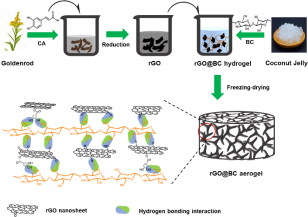


Fig. 1. Schematical illustration of the overall preparation procedure ofrGO@BC

aerogel.

关键词：生物基； 细菌纤维素；咖啡酸； 绿色还原；柔性压力传感器

[1] Wei S, Qiu X, An J, Chen Z1,\*, Zhang X 2, \* . Composites Science and Technology, 2021,207(3), 108730.

分类：主题 F 天然高分子功能智能材料与器件

497

**基于天然多酚纳米组装体的强韧低温自修复材料**

王楠，张新星\*

高分子材料工程国家重点实验室，四川大学高分子研究所，成都 610065

\*xxzwwh@scu.edu.cn

可长期在极地、深海、高空、高原等低温极端环境中服役的材料， 是国防与国民经济建设不可或缺的战略性关键材料，其低温自修复与强韧化是高分子科学与工程领域的前沿问题。低温下，由于聚合物链段运动受限、构象转变活化能垒高、松弛时间长， 动态键网络难以解离重构， 传统可修复聚合物材料易脆化失效。通过设计降低主链内旋转位垒，可制备低温下可修复的柔性聚合物，但绝大多数力学性能不足；另一方面，通过在高分子量主链或侧链中引入超支化结构可制备具有一定修复能力和强度的玻璃态聚合物，但仅能在室温附近修复，且通常需借助压力、溶剂等外界条件。为了克服这一挑战，本课题利用单宁酸丰 富的活性基团[1,2]，在超声作用下配位诱导多酚纳米自组装， 基于其高密度侧基 末端的氢键相互作用构筑了-20 ℃可修复的强韧低温自修复材料（拉伸强度超 30 MPa），并探索了其低温传感及功能修复性能， 为提高高性能材料与器件在极寒 环境中服役的可靠性提供了新方法。

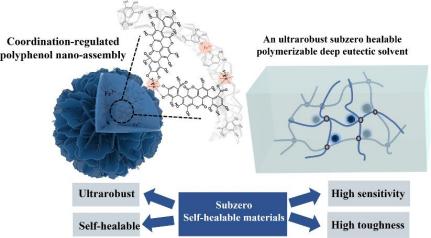


Figure 1. 基于天然多酚纳米组装体高密度活性端基构筑强韧低温自修复材料.

关键词：生物基材料； 低温自修复；单宁酸

参考文献：

[1] N. Wang, X. Yang, X. Zhang, Nat. Commun. 2023, 14, 1.

[2] N. Wang, X. Feng, J. Pei, Q. Cui, Y. Li, H. Liu, X. Zhang, ACS Sustain. Chem. Eng. 2022, 10, 3604.

分类：主题 F 天然高分子功能智能材料与器件

501

**纤维素纳米晶杂化材料的结构调控及其功能化应用**

李照慧，卢云洁，李泽炜，宗鲁\*，张建明

青岛科技大学，高分子科学与工程学院，山东青岛 266042

zonglu@qust.edu.cn

围绕纤维素纳米晶（CNC）功能化和高值化利用的主题，我们以CNC和有机、无机材料间可调控的相互作用（共价键、非共价键）为指引，以期可调控构筑CNC杂化功能材料。首先我们发现磺酸化CNC与过渡金属二硫化物间具有较强的氢键和配位相互作用，不仅可以高效辅助剥离二硫化钨纳米薄片（1.8 mg mL-1），还可以宽pH（1-13）稳定水相分散，并成功构筑了可拉伸200%、光、热、湿度多刺激响应的纤维素纳米晶/WS2/聚氨酯柔性光子薄膜。随后，我们利用羧基化爪型CNC与水玻璃（二氧化硅前驱体）间的配位作用，实现了CNC与二氧化硅的原位杂化，CNC不仅增强了二氧化硅气凝胶的基体强度，还提供了丰富的氢键作用位点，通过热压工艺，成功构筑了高强度（>60 MPa）、轻量化（0.26 g cm-3）、隔热（0.021 W m-1 K-1）的CNC杂化气凝胶板材。进一步的，我们创新性的把同时具有亲水和疏水位点的杂化气凝胶粒子与聚乙烯醇水凝胶，得到了具有多级孔（100 μm-10 μm-10 nm）、强韧（>2 MPa）、超轻（0.3 g cm-3）的纳米复合水凝胶，在隔热、传感领域均有较好的应用前景。近期，我们采用共价键杂化改性策略，以硝酸铈铵为引发剂，成功水相CNC接枝聚丙烯酸电解质，其表面羧基含量（11.5 mmol g-1）、接枝效率（200%）均高于文献报道，大大提高了CNC的再分散性和表界面功能性，在干燥环境下（<30%RH），表现出优异的吸湿集水性能，同时也为下一步CNC杂化材料的功能化和高值化利用提供了新材料平台。

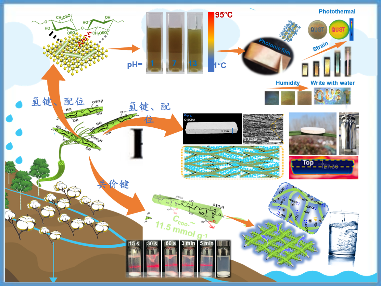


Figure 1. 纤维素纳米晶杂化材料及其功能化应用.

参考文献：

[1]Qiaoling Liu, Qianqian Peng, Cheng Ma, Min Jiang, Lu Zong, Jianming Zhang. Chemical Engineering Journal, 2022, 428, 132594.

[2]Qianqian Peng, Yunjie Lu, Zhaohui Li, Jianming Zhang, Lu Zong, Carbohydrate Polymers, 2022, 297, 119990.

分类：主题 F 天然高分子功能智能材料与器件

514

**生物基高性能锌离子储能器件**

黄俊

贵州大学

水系可充电锌离子储能技术因其安全、低成本、环保等优点，被认为是大规模储能技术中最具竞争力的候选储能器件之一，近年来成为研究热点。然而，锌（Zn）金属负极的不可控枝晶生长、腐蚀和钝化，导致低库仑效率和有限的寿命，这是水系锌离子电池商业化发展的最大障碍之一。电解液组分调控在调节Zn沉积行为和减少Zn金属负极上的副反应方面起着至关重要的作用，且操作简单、高效、易于实现。通常电解液改性被认为是一种简单易行的锌负极保护策略，然而传统电解质添加剂由于其高粘度或成分复杂，常常会引起电池极化的增大和倍率性能的下降，以及引入杂质等诸多问题。因此，如何通过设计合理的电解液设计，优化负极-电解液界面，实现副反应的抑制与锌离子的可控沉积，仍然是当前锌离子储能技术研究中所面临的难点与挑战。报告将首先简要介绍水系锌离子储能技术的发展历史、电荷储存机理、匹配原则、正负极材料及水系锌离子储能技术的基本器件结构。在此基础上，总结在电压窗口、比电容、倍率性能和电化学稳定性等方面实现高性能锌离子储能技术的基本策略与存在的关键科学问题和技术难题。提出设计制备高性能生物基凝胶电解质、生物基电解液添加剂及生物基界面层来提高水系锌离子储能器件的倍率性能和使用寿命，构筑具有高能量密度、高倍率性能和高稳定性的水系锌离子储能技术，为水系锌离子储能技术的实际应用提供理论参考与研究基础。

参考文献：

[1] Huang J, Xie H, and Chen Y. et al., Adv. Funct. Mater. 2023, 33(14): 2213095.

[2] Huang J, Yuan K, and Chen Y. et al., Adv. Funct. Mater. 2021, 32(4): 2108107.

[3] Huang J, Yuan K, and Chen Y. et al., J. Mater. Chem. A 2021, 9(13): 8435.

[4] Huang J, Yuan K, and Chen Y. et al., ACS Nano 2020, 14(10): 14201.

[5] Huang J, Yuan K, and Chen Y. et al., Adv. Sci. 2019, 6(12): 1900107.

[6] Huang J, Yuan K, and Chen Y. et al., Adv. Sci. 2019, 6(16): 1900550.

[7] Huang J, Yuan K, and Chen Y. et al., ACS Nano 2018, 12(3): 3030.

[8] Huang J, Wei J, and Chen Y. et al., J. Mater. Chem. A 2017, 5(44): 23349.

分类：主题 F 天然高分子功能智能材料与器件

541

**纤维素基材料在锌离子混合超电容中的功能设计和研究**

杨绿野a，姚建峰b,\*

a贵州大学，贵州省贵阳市花溪区550025

b南京林业大学，江苏省南京市玄武区210018

[\*[[6]](#footnote-5) jfyao@njfu.edu.cn](mailto:*(jfyao@njfu.edu.cn)

水系锌离子混合超级电容器集成了电池和电容器的优点，并保证了经济和安全性，有望在运输工具和可穿戴设备中占据主要位置。论文以纤维素生物质为原料、ZnCl2为主要试剂，以不同的策略高效制备了水凝胶和多孔碳材料，研究了材料在锌离子混合超电容中的储能特性，成功实现了高性能、多功能的电化学储能设备。论文设计了以高浓度ZnCl2和纤维素制备凝胶电解质的策略，该凝胶电解质使得储能设备具有2.0 V的稳定电压窗口，同时实现Zn2+在锌金属负极上的高效沉积和剥落，避免枝晶和副反应物的生成[1-2]。论文以纤维素为碳源，利用ZnCl2的催化及熔盐模板作用得到具有丰富介孔的多孔碳，该多孔碳与含ZnCl2的纤维素水凝胶相结合，能使储能设备的比容量高达247 mAh g-1、能量密度高达243 Wh kg-1，接近电池水平[3]。论文进一步提出并研究了以木质纤维同时制备多孔碳和水凝胶的策略，木质纤维经ZnCl2水溶液处理获得固体残留物和溶解物，固体残留物碳化形成多孔碳，溶解物经交联形成水凝胶（Figure 1）[4]。



Figure 1. Preparation of hydrogel and carbon material from lignocellulosic biomass.

参考文献：

[1]Lvye Yang, Lian Song, Yi Feng, Mengjue Cao, Pengcheng Zhang, Xiong-Fei Zhang, Jianfeng Yao\*. J. Mater. Chem. A 2020, 8, 12314.

[2]Lvye Yang, Jingqiu Li, Pengcheng Zhang, Jianhao Qiu, Yi Feng, Mengjue Cao, Jianfeng Yao\*. Cellulose 2021, 28, 11483.

[3]Lvye Yang, Jingqiu Li, Yicheng Zhou, Jianfeng Yao\*. J. Energy Storage 2022, 50, 104252.

[4]Lvye Yang, Luan Yang, Dingliang Dai, Jianfeng Yao\*. J. Mater. Chem. A 2022, 10, 24208.

分类：主题 G 纤维素化学品、纤维素再生材料工业论坛

46

**废旧棉织物回收制备再生浆粕及**

**高值化Lyocell纤维**

张耀鹏、姚响、刘洋、王凯航、周勇成

纤维材料改性国家重点实验室，东华大学材料科学与工程学院

我国废旧纺织品产量巨大，回收利用率低，多以焚烧、填埋处理，造成环境污染和资源浪费。涤棉混纺织物是最为常见的纺织品，针对废旧涤棉混纺织物的回收利用，目前主要将其经过简单的物理机械处理再生为地毯、拖把等低值化产品。因此，开发废旧涤棉等含棉织物的高效循环再生技术，进一步借助绿色再生策略制备高附加值的纤维原料，对于提高资源利用率和减少环境污染均具有重要意义。

本研究以废旧涤棉混纺织物为原料，首次将涤棉的分离与烧碱法制备溶解浆工艺相结合成功制备获得了废旧棉再生浆粕（聚合度介于500~700），进一步以100%废旧棉再生浆粕为原料开展了绿色环保的Lyocell工艺纺丝探索并成功制备获得了纤度介于0.90~2.20 dtex，干强≥3.60 cN/dtex的再生Lyocell纤维[1-4]。所制备再生Lyocell的核心性能符合Lyocell纤维优等品要求[5]。相关研究探索对纺织行业的绿色可持续发展具有重要意义，并有望推动废旧纺织品综合利用产业向绿色环保与高值化利用转变。

参考文献：

[1] 张耀鹏，薛梦青，王友春，余达山，姚响，杨革生，范苏娜. 专利202011310632.X

[2] 张耀鹏，薛梦青，张慧慧，王友春，余达山，姚响，杨革生，范苏娜. 专利202011310638.7

[3] 姚响，张耀鹏，杨革生，邵惠丽，张光先. 专利202110403907.2

[4] 姚响，张耀鹏，周勇成，杨革生，张慧慧，牛欠欠，黄金鹏. 专利202210561983.0

[5] 中华人民共和国纺织行业标准《FZ/T 52019-2018 莱赛尔短纤维》

关键字 废旧纺织品循环利用、废旧涤棉织物、废旧棉再生浆粕、Lyocell纤维、绿色高值化回收利用

分类：主题 G 纤维素化学品、纤维素再生材料工业论坛

87

**偶氮苯液晶的制备及在纤维素溶液中**

**的应用研究**

李传盟

天津工业大学

用＂高浓低粘＂的纺丝液制备是高强纤维素纤维的核心步骤，纤维素因独特的分子结构和聚集态堆砌方式使其在高浓度条件下粘度急剧增加。因此在保证纺丝液性能的前提下，通过向高浓度溶液中引入适当的液晶基元来降低粘度，最终可制备出高强度纤维素纤维。本文通过重氮化反应合成出对氰基偶氮苯酚与1,6-二溴己烷、N-甲基咪唑反应，制备了偶氮苯液晶基元。通过偏光显微镜发现温度降至144℃出现扇形织构，证实为近晶相。DSC测试表明在113℃和141℃有两个放热峰，分别对应于结晶向近晶相及近晶相向各向同性相的转变。通过向6%浓度纤维素离子液体溶液中引入适当该偶氮苯液晶基元降低粘度，并用Haake流变仪表征了体系的流变性能。

关键字 偶氮苯 液晶 离子液体

分类：主题 G 纤维素化学品、纤维素再生材料工业论坛

90

**纤维素甲酸酯的绿色制备与应用**

刘超、吴美燕、李滨

中国科学院青岛生物能源与过程研究所

纤维素酯是纤维素的一类衍生物，在化工、涂料、薄膜、水处理、军工等领域有广泛的应用。纤维素甲酸酯（CF）是由纤维素的羟基和甲酸发生酯化反应而制备得到的一种纤维素酯化产品，通常需要高温和催化剂，反应得率较低。因此，亟需开发绿色清洁的CF制备方法，为其功能性应用奠定基础。前期研究发现，FeCl3辅助的甲酸水解纤维素，可用来制备纳米级CF（取代度<0.5）[1]。由于表面酯基的存在，纳米级CF可以稳定分散在有机溶剂（例如，二甲基乙酰胺（DMAc）等）中，使其在聚合物（例如，聚乳酸等）体系中具有很好的增强效果[2]；纳米级CF可进一步制备具有良好耐水性的功能性纤维素纳米纸（CNP）[3]，在CNP基智能器件的开发中前景广阔[4]。我们最新的研究发现，用三水合溴化锂溶液常压室温非溶解预处理溶解浆纤维素30分钟后，可显著增加纤维素和甲酸的反应效率，且室温下可溶解再生制备高取代度（>1.2）CF，得率100%，溶剂易回收回用，过程清洁，每吨CF成本约1万元，易于放大应用。

关键字 纤维素，纤维素甲酸酯，绿色制备，再生

分类：主题 G 纤维素化学品、纤维素再生材料工业论坛

114

**纤维素侧链离子液晶溶液制备及其可纺性研究**

王林锋、宋俊

天津工业大学

离子液体作为一种新型溶剂对纤维素有很强的的溶解能力，纤维素／离子液体体系制备纤维素纤维有环保及溶剂易回收等优点，但是纤维素浓度増大会导致纤维素溶液体系粘度急剧增大，为了制备“高浓低粘”的纤维素溶液，纤维素液晶体系被提出。本研究分别通过对氰基联苯酚与1,4-二溴丁烷/1,5-二溴戊烷/1,6-二溴己烷、N-甲基咪唑反应合成了不同液晶基元，采用偏光显微镜以及差示扫描量热仪来研究不同液晶基元在纤维素/离子液体中的液晶性能及其溶液可纺性。结果表明，不同液晶基元均在偏光显微镜下能够观察到纹影织构的向列相液晶，同时也在DSC测试中出现了120℃和140℃两个放热峰，分别对应于固态向液晶态及液态的转变。当纤维素浓度为6wt%，液晶基元浓度为3wt%时，纤维素侧链离子液晶溶液粘度及浓度符合干湿法纺丝要求，为制备高强纤维提供了一种新的思路。

关键字 纤维素；离子液体；液晶

分类：主题 G 纤维素化学品、纤维素再生材料工业论坛

149

**天然纤维素化学改性多元化及高品质化共性问题**

邵自强

北京理工大学

纤维素化学改性与修饰是其功能化的主要途径，迄今为止已有近百种纤维素衍生材料及功能制品广泛应用于国民经济诸多领域。近年来，锂离子电池、太阳能发电、超级电容器、生物医疗等新兴材料及军工领域对纤维素基功能材料提出多元化、特质化及高品质的要求，但因分子结构设计、专用工装设备加工、精细配套工艺研究等技术难题，部分高品质纤维素及材料制造还未国产化。本报告从纤维素功能化过程存在的共性问题开始讨论，分析纤维素原料及其预处理、溶剂体系、关键设备与辅助工装系统结构、关键工艺优化等对产品质量与性能的影响规律，提出构建多基团修饰化学细微结构及其性能间构-效关系，创建新的检测方法对纤维素基功能材料质量实时监控等加速提升我国天然纤维素功能材料质量研究的一些建议与措施。

关键字 纤维素；化学改性；功能化；高品质；构效关系

分类：主题 G 纤维素化学品、纤维素再生材料工业论坛

164

**PVA增强纳米纤维素水凝胶制备潜航器柔性仿生贴板**

邸勇

泰安赛露纤维素醚技术研究所

摘要：纳米纤维素或者静态发酵制备的细菌纤维素经过冷冻干燥，用5%的PVA水溶液进行完全吸附增强，二次冷冻干燥并且采用环氧树脂对其进行单面浇筑成型，制成环氧树脂复合贴面板，最后经过PEG400和PAM进行表面柔性处理制备潜航器表面蒙皮贴面，采用制备的贴面板对潜航器电动遥控模型进行运行测试，在相同电量动力的情况下，贴柔性仿生蒙皮后潜航器在相同水域和同等深度、同等航速情况下，航行时间延长了25%，航行距离增加了27%，随机噪声测定仪检测航行过程中的噪声降低了18%。

关键字 关键词：纳米纤维素、细菌纤维素、水凝胶、PVA增强、仿生贴板、潜航器、减阻、降噪

分类：主题 G 纤维素化学品、纤维素再生材料工业论坛

186

**细菌纳米纤维素在汽车领域的应用前景**

钟春燕

海南光宇生物科技有限公司

新能源汽车技术的创新和颠覆性能源技术的突破已经成为持续改变世界新能源汽车的格局，开启全球各国碳中和行动的关键手段。从天然资源中分离、改造出高产工程菌发酵得到的细菌纳米纤维素具有绿色低碳、强度高、密度低、纯度高、热膨胀系低、结构稳定性好、无需复杂分离过程等一系列优点，可制备更强、更轻和更可持续的复合材料，有望取代塑料和部分金属，助力汽车轻量化和绿色化。细菌纳米纤维素膜可替代汽车内饰皮类材料的膜材、显示器的透明玻璃和塑料。在多元化材料复合的基础上，细菌纤维素作为塑料的增强材料可制成各种形状且热稳定性好、强度高的复合材料，用于大量的汽车零件，包括仪表板、保险杠、侧板甚至车身等。加入纳米抗菌分子材料的细菌纳米纤维素仿皮具有纳米级尺寸和网状结构，绿色环保，不添加有机溶剂，且具有真皮质感、防水透气、耐磨耐用、安全防火。随着复合材料制造技术的不断创新，未来细菌纳米纤维素复合材料将不断出现，将大量应用于汽车领域中，使汽车产品设计、制造及环保低碳等方面产生质的飞跃。

关键字 细菌纳米纤维素，汽车，复合材料，轻量化，绿色低碳

分类：主题 G 纤维素化学品、纤维素再生材料工业论坛

221

**纤维素纳米晶的生物基化学品与材料成果转化应用探索**

黄进、甘霖

西南大学

纤维素纳米晶具有一维棒状不对称形貌、高结晶性、刚性、高比表面积、生物相容等特点，切合材料可持续性与来源生物质资源化。为实现纤维素资源的高值化利用，持续探索了基于纤维素纳米晶的新材料构建策略。首先探索了该类生物相容纳米颗粒的棒状形貌与结晶结构及其关联的维度效应[1]、结构多级次有序性在材料领域应用的独特优势[2]，进而发展并丰富了表面结构与理化性质可控的表面修饰方法学及立构效应调控的分子工程[3]，创新了多组分/复杂相体系基于物质间作用模式调控的协同高性能化和功能创建方法[4]，最后展望了未来纤维素纳米晶新材料的设计思路与构建方法。

关键字 纤维素纳米晶；表面分子工程；纳米复合改性；材料高性能化与功能化

分类：主题 G 纤维素化学品、纤维素再生材料工业论坛

277

**原液着色Lyocell纤维的结构与性能**

王宿、杨革生、李凯、张慧慧

东华大学

Lyocell纤维不仅具有优良的力学性能、良好的吸湿性、独特的光滑柔软手感，穿着舒适，而且可以生物降解，其生产工艺绿色环保[1]。因此，Lyocell纤维近几年在国内快速发展，主要应用于纺织服装领域[2]。传统先纺后染的方法不仅会产生大量的染液废水污染环境，而且工艺流程长、能耗增加、生产成本增加[3]。为了解决传统染色带来的问题，本文通过将活性蓝194和靛蓝两种染料分别在纤维素溶解于N-甲基吗啉-N-氧化物（NMMO）过程中加入制成有色纺丝原液，再采用干湿法进行纺丝得到原液着色Lyocell纤维（Figure 1），并对其结构与性能进行表征，并与传统染色Lyocell纤维进行比较。结果表明，活性蓝194以及靛蓝染料均适用于Lyocell纤维的原液着色，染料不会扩散到凝固浴里而影响溶剂的回收，原液着色Lyocell纤维的色牢度更高，且力学性能均有所提升。此外，活性蓝194还有助于降低Lyocell纤维的原纤化发生（Figure 2）。

关键字 Lyocell纤维，原液着色，原纤化

分类：主题 G 纤维素化学品、纤维素再生材料工业论坛

527

**纤维素，纳米纤维素，纳米纤维素晶增强**

**淀粉基材料**

余龙

华南理工大学，河南省科学有化学所

纤维素与淀粉的结合可以预期得到完美界面的复合材料，这是由于两者具有同样的化学单体结构：单糖（glucose）。不同种类的纤维素形态：原纤维素，纳米纤维素和纳米纤维素晶，在淀粉中可以起到不同作用：

(1) 纤维素具有来源广分价格低廉的优势，与淀粉复合可以制备各种广泛用途的生物基复合材料。秸秆，水草等未经分离的原纤维在淀粉中添加量可达70-90%，在快递包装箱材料的发展中显示出巨大潜力。

(2) 纳米纤维素由于其尺寸优势，能够同时有效增加淀粉材料的强度和韧性。在可食用膜和药用胶囊材料中显示出独特的优势。

(3) 纳米纤维素晶具有好的刚性，使用纳米纤维素晶能够高 效增加淀粉材料的拉伸模量与强度。在3D打印材料中显示出应用前景。另外纳米纤维素晶非常容易分散，加工使用方便。

(4) 另外很多天然纤维素中含有不同天然的抗菌物质，如石榴皮中的各种酚类，可以用来制备抗菌包装材料，由于淀粉与纤维素优良的相容性，这些功能化合物不需要提取，直接与纤维素一起加入到淀粉基材料中。有效降低了成本。

参考文献：

[1] Q. Duan, Z. Zhu, Y. Chen, M. Yang, H. Liu, L. Chen, L. Yu, Starch-based foams nucleated and reinforced by polysaccharide-based crystals, ACS Sustainable Chemistry & Engineering, 2022. 2169.

[2] Q.Duan, T. Jiang, C. Xue, H. Liu, M. Alee, A. Ali, L. Chen, L. Yu, Preparation and characterization of starch/enteromorpha/nano-clay composites, International Journal of Biological Macromolecules, 2020. 150. 15.

[3] 朱建, 陈慧, 卢凯, 刘宏生, 余龙, 淀粉基生物可降解材料的研究新进展, 高分子学报，2020, 51(9), 893。

[4] A. Ali, F. Xie, L. Yu, H, Liu, L, Meng, S. Khalid, Ling Chen, Preparation and Characterization of Starch-based Composite Films Reinfoced by Polysaccharide-based Crystals, Composite B, 2018, 133, 122.

[5] A. Ali, Y. Chen, H. Liu, L. Yu, Z. Baloch, S. Khalid, J. Zhu, L. Chen, Starch-based antimicrobial films functionalized by pomegranate peel, International Journal of Biological Macromolecules, 2019, 129, 1120-1129

分类：主题 G 纤维素化学品、纤维素再生材料工业论坛

528

**纳米纤维素绿色制备与高值化应用**

姚献平

杭州市化工研究院有限公司

纳米纤维素制备工艺有生物法、化学法、机械法等，但单一的制备技术通常存在污染重、能耗高、浓度低等问题。针对上述问题，本研发团队利用学科交叉技术，开发了高浓绿色制备新工艺。该工艺能耗低，无废水排放。产品具有高含固量、高长径比等特点，已建成210 kg/d（绝干）纳米纤维素绿色制备中试示范线，正在建设1000 kg/d（绝干）纳米纤维素产业化示范线。高值化应用方面，在纸基功能材料、阻隔材料、全降解材料、化妆品、涂料、3D打印材料、高吸水性树脂等领域均取得一定进展，特别是在造纸领域，纳米纤维素基转移印花涂料已实现商品化应用；通过纳米纤维素提高纸张强度，节约木浆纤维方面取得明显效果，展示出良好的市场前景。

关键字 纳米纤维素，绿色制备，高值化应用

分类：主题 G 纤维素化学品、纤维素再生材料工业论坛

534

**木材纤维细胞壁定向解离及其制备高性能柔性电极**

**的研究**

房桂干

中国林业科学研究院林产化学工业研究所，江苏南京，210042 邮编

\*fangguigan@icifp.cn

柔性储能器件是柔性电子设备的核心元件，研究和发展高性能柔性储能器件是推动柔性电子技术进步的关键。在柔性储能器件中，柔性超级电容器因具备优异的能量存储性能、机械柔性、安全性等优点，引起了广泛关注。迄今为止，如何保持高性能柔性电极在不同形变或环境条件下稳定能量输出仍然是技术难题。木质纤维（CF） 具有独特的物理化学特性，能够承受机械形变过程中产生的内应力，并且其立体结构具有高的比表面积和表面活性位点，利于导电活性材料的负载和分散， 但是 CF 酸碱耐受性差、机械刚性差的缺陷，极大地限制其在柔性电极的实际应用。银纳米线（ AgNWs）因具有优异的导电性和机械柔韧性，被认为是理想的导电活性材料，并且由 AgNWs 焊接或编制而成的金属网状二维或三维结构具有出色的电子迁移路径和比表面积，广泛应用于各类导电材料和电子器件中。但 AgNWs 在柔性电极的应用中仍存在着一些不足，如：抗氧化性差、功率密度低、循环稳定性低等问题。针对上述问题，本研究主要从两个方面入手：纤维柔性基底的开发以及 AgNWs 稳定结构的设计。 利用预处理方式破坏木质纤维的分子结构和细胞壁结构， 提高纤维表面利用率并改善其化学物理特性。同时，通过构建 AgNWs 和石墨烯的“核-壳”结构，从而制备了具有高化学稳定性和优异电化学性能的木质纤维基超级电容器。

****

**Figure 1. Proposed mechanism of the electrode fractionation.**

分类：主题 G 纤维素化学品、纤维素再生材料工业论坛

535

**离子液体在纤维素材料中的应用：回顾、现状**

**与展望**

张军

中国科学院化学研究所

纤维素是世界上最丰富的天然有机物，可迅速再生，每年再生量超过千亿吨，占植物界碳含量的50％以上，可谓是“取之不尽、用之不竭”的生物质资源。作为一类天然、非食用生物质资源，纤维素被认为是人类未来化学、化工的主要原料。在国家碳中和目标战略和高分子材料可持续发展的大背景下，以纤维素为代表的生物质材料存在极好的发展机遇。发展纤维素的高效、绿色加工新方法是纤维素科学领域最为重要与活跃的领域。纤维素具有优异的成纤性、成膜性和出色的力学性能。但由于聚集态结构和丰富的氢键网络，纤维素不熔化、难溶解，传统纤维素加工和纤维素化学工业采用的是高能耗、重污染的生产工艺，极大限制了纤维素材料的应用领域。开发纤维素材料的高效绿色制备和反应新技术具有重要的经济和社会意义。离子液体、超临界二氧化碳和水一起构成了目前最重要的三种绿色溶剂体系，具有广阔的应用前景。在离子液体的各种应用研究中，用离子液体溶解和加工纤维素是非常令人期待的。这是因为纤维素分子链间存在丰富的氢键网络，未改性的纤维素不能熔化，也很难溶解于一般溶剂中，以往可以溶解纤维素的溶剂种类极其有限。从本世纪初开始，一些特定结构的离子液体陆续被发现可以高效溶解纤维素，离子液体的阴阳离子与纤维素的羟基分别形成氢键等相互作用，破坏了纤维素分子内和分子间原有的氢键网络，从而实现了纤维素在离子液体中的溶解。纤维素在离子液体中的溶解机理、溶解过程、溶液状态、结晶行为和再生过程等方面都得到广泛的研究。离子液体具有溶解纤维素能力强、溶解快、溶解度高、纤维素降解轻等优点。离子液体溶剂体系为再生纤维素材料制备提供了一种很有前途的绿色新方法，基于离子液体溶剂的纤维素均相衍生化反应也为创建新型纤维素材料提供了一个极为有效的新途径。可以说，离子液体溶剂的出现为纤维素的有效利用和高值转化研究提供了一个崭新的和多用途的平台，显著拓展了纤维素这一自然界储量最大的生物质资源的应用领域，促进了纤维素科学的发展。

分类：主题 H 育人育才研究生论坛

35

**表面活性位点工程：光和超分子协同催化生物质还原升级和产氢**

蒙叶

贵州大学

构筑表面活性位点和适当调控光催化剂能带结构是建立高效生物质光催化转化体系的有效策略。据此，我们将五元瓜环(CB[5])锚定在富氧空位的三氧化钨(Ov-WO3)上制备出主-客体光催化剂(Ov-WO3@CB[5])。该催化剂可高效活化氨硼烷(NH3-BH3)进而加氢升级生物质衍生物。在室温及可见光诱导下，Ov-WO3@CB[5]可高效级联催化乙酰丙酸乙酯经加氢环化合成γ-戊内酯。同时，该催化体系也能催化一系列醛、酮或硝基类经转移加氢定量合成相应的一级、二级生物醇或芳胺。值得注意的是，Ov-WO3@CB[5]直接光催化水解NH3-BH3制氢速率可达5.75 mL h-1 g-1。理论计算表明，引入CB[5]有效地调整了半导体材料的能带结构，提高了光生载流子的迁移效率，并通过主-客体相互作用降低了NH3-BH3的活化能。该催化策略基于界面主-客体化学构建出超分子表面活性催化位点，为生物质的定向还原升级与产氢开辟了一种全新的转化途径。

关键字 生物质，光催化，超分子催化，表面活性位点工程，γ-戊内酯

分类：主题 H 育人育才研究生论坛

36

**基于水合编程形状记忆人工肌肉材料用于模拟拮抗运动**

崔言德

武汉大学

能够实现多种从各向异性的临时形状到永久形状的形变效果的形状记忆聚合物(SMPs)有望作为人造肌肉材料在软机器人技术中发展实际应用。然而，SMP的临时形状需要通过外力重新编程，从而限制了可能的应用。在此，受拮抗肌肉运动的启发，我们报告了一种新的策略，通过水合编程实现SMP材料的临时形状编辑(HP-SMP)。纤维状HP-SMP的临时形状是在水凝胶状态下编程并通过干燥固定的，而形状恢复是通过加热超过玻璃化转变温度实现的。由于溶胀水凝胶纤维的高预拉伸比[1]，HP-SMP纤维可以实现大轴向收缩(-60%)，工作能力是骨骼肌的18倍。此外，由于HP-SMP的高取向结构和增强的驱动力，HP-SMP纤维可以在恒定应力下进行可逆驱动。因此，将HP-SMP纤维应用于人工手臂中实现可逆弯曲和伸展，成功地展示了拮抗HP-SMP纤维肌肉的交替驱动，为SMP在仿生机器人中的先进应用奠定了新的基础。

关键字 形状记忆聚合物 水合编程 可逆驱动 高工作能力 拮抗运动

分类：主题 H 育人育才研究生论坛

94

**具有优异生物降解性、阻燃性和高透明性的开关型水性**

**涂料**

王逸蓉、程耀辉、尹春春、张金明、张鑫、张军

中国科学院化学研究所

受贝壳“砖泥”结构和其全生命周期环境友好的启发，我们利用天然生物质纤维素和蒙脱土（MMT）为原料，构建了一种开关型、本征性阻燃、完全生物降解且高透明的涂层材料。首先，我们设计合成了阳离子型纤维素衍生物，其作为大分子表面活性剂，可有效剥离MMT，得到纳米MMT/阳离子型纤维素衍生物水分散液。随后，通过简单的喷涂工艺和盐水溶液后处理，制得具有“砖泥”结构的高稳定性透明疏水阻燃涂层。该涂层PHRR仅为17.3 W/g，是纤维素PHRR的6.3%，可使木片、塑料眼镜等可燃物实现离火自熄。而且，该涂层在400-800 nm范围内透明度高于90%，即使在水中也具有良好的稳定性。该涂层在服役完成后，通过亲水性盐水溶液处理，即可转变为水溶性材料，可以很容易地实现移除。特别值得注意的是，该纳米MMT/阳离子纤维素衍生物杂化涂层可以完全降解，且无毒性。这种概念型的全生命周期环境友好的功能涂层材料不仅性能优异，而且制备工艺环境友好且操作简便，具有重要的应用前景。

关键字 开关型，生物降解性，砖泥结构，纤维素衍生物，涂层

分类：主题 H 育人育才研究生论坛

134

**多孔木基摩擦纳米发电机用于实时无线食品**

**质量评估**

蔡晨晨、王双飞、聂双喜

广西大学

实时监测易腐食品的质量对于降低社会成本和食源性疾病至关重要。传统的食品质量评估方法依赖于外部有线电源，昂贵且复杂的仪器无法提供方便的监测，增加了风险和成本。本研究开发了一种基于多孔木基摩擦纳米发电机的无线自供电气体传感器系统，以实现冷链中食品质量的实时无线评估。系统可以实时监测关键食品腐败标志气体(如氨气)，并在高湿度(75%)和低温(-18°C)下保持优异的稳定性。得益于木材的三维多孔结构和碳纳米管材料的氨敏感特性，木基摩擦纳米发电机的输出电压随着氨气浓度从50 ppm增加到500 ppm有选择性地下降。此外，在500 ppm的氨气浓度下，摩擦纳米发电机呈现出0.85的响应值，远远高于相同浓度下易腐食品释放的其他常见气体。通过系统集成和电源管理，可将数据无线传输到用户界面。本研究为自供电系统在食品质量评价中的应用提供了设计思路，同时也促进了自供电系统在食品工业中的发展。

关键字 摩擦纳米发电机；木材；气体传感器；食品

分类：主题 H 育人育才研究生论坛

135

**纳米纤维素悬浮液与固体的接触起电研究**

罗斌、王双飞、聂双喜

广西大学轻工与食品工程学院

纳米纤维素悬浮液与固体接触起电研究可以显著增强我们对制浆造纸过程、造纸湿部化学的理解。然而，由于纳米纤维素悬浮液的流动性与界面化学成份的复杂性，导致研究其液固界面接触起电缺乏快速便捷的技术。本文开发了一种液体与电极直接接触的液固摩擦纳米发电机作为探针，用于研究纳米纤维素悬浮液与固体接触起电的现象。通过为探针设计两个空间排布的电极（液体依次接触），成功分离了不同极性的电荷。在液体与电极电势差的驱动下，50 ms内量化了转移电荷。探针转移电荷信号表明，悬浮在水介质中的纳米纤维素对液固界面电荷转移存在抑制作用。探针转移电荷信号和短路电流信号的综合使用可以用于反映悬浮液的运动状态。本研究提出了一种有前途的方法来解决纳米纤维素悬浮液与固体接触起电研究的挑战，并为增强我们对液体-固体接触起电化学过程的理解提供了新的视角。

关键字 纳米纤维素；液固摩擦纳米发电机；接触起电；界面化学

分类：主题 H 育人育才研究生论坛

136

**超高表面电荷密度的可持续纤维素摩擦电材料用于能量收集**

王金龙、王双飞、聂双喜

广西大学

在极端温度范围内能够稳定使用的电源对于航空航天、深地能源勘探等尖端应用都至关重要。具有免维护、自供电、环境适应性强和可持续特性的摩擦纳米发电机为电源在极端温度下稳定运行提供了可能性。然而，开发在极端环境中稳定使用且保持高表面电荷密度的摩擦电材料是一个巨大的挑战。在这项工作中，基于天然超分子结构工程策略，开发了一种具有动态热抵抗能力的纤维素摩擦电材料。该摩擦电材料可在-196℃至230℃的超宽温度范围内保持优异的结构稳定性，200℃时电荷密度高达192 μC m-2，由其组成的自供电电源功率密度在高温下达到前所未有的2.75 W m-2，这是一般高温自供电电源功率密度的13.75倍。此外，该摩擦电材料表现出优异的热可逆特性，在高温-低温的交变极端温度中工作50000次循环，功率密度几乎没有衰减。这项工作不仅为自供电电源的材料设计提供了新的见解，而且为极端环境自供电电源的开发开辟了一条可持续发展的道路。

关键字 极端环境，高表面电荷密度，纤维素摩擦电材料，自供电电源，可持续的能量收集

分类：主题 H 育人育才研究生论坛

137

**化学定制纤维素表面分子用于调控电荷密度**

刘艳华、王双飞、聂双喜

广西大学 轻工与食品工程学院

研究材料的表面化学成分对于进一步了解接触带电过程中产生的摩擦电荷具有重要意义。但大部分摩擦电材料的研究都集中在不可再生的合成聚合物，尚未详细开展通过化学修饰来调控天然材料摩擦电荷密度的基础研究。纤维素是一种来源丰富可生物降解的优质天然高分子材料。同时，纤维素表面富含羟基，可以在纤维素分子上引入一些官能团，在调节摩擦极性和改善物理性能方面具有显著优势。在这项工作中，选择具有相同主链但不同末端官能团的硅烷偶联剂来调控纤维素表面官能团。结果表明，纤维素电荷密度可以通过在其表面引入具有不同吸电子或给电子能力的官能团来实现。通过调节官能团的数量和密度，可以更具体地调整电荷密度的范围。更重要的是，利用表面电势测试原理与电子云势阱模型，提出了一种相对系统和改进的机制来阐明化学成分调控对接触带电的影响。本文为系统研究化学定制表面分子以调控纤维素摩擦电荷密度提供了指导。

关键字 纤维素，表面电荷密度，化学功能化，接触起电

分类：主题 H 育人育才研究生论坛

138

**基于壳聚糖摩擦电材料的可穿戴触觉传感器**

刘涛、聂双喜

广西大学

壳聚糖作为一种生物友好的可再生资源，在电子皮肤、触觉传感器和可穿戴电子设备等领域受到广泛的关注。然而，壳聚糖自身的弱极化性能限制了其在自供电触觉传感的应用潜力。这项研究利用表面工程和结构工程的耦合作用，制备了一种高输出性能的壳聚糖基摩擦电材料，其自供电输出性能可以达到达723 nC，这是目前自供电可穿戴触觉传感器的最高值。采用壳聚糖摩擦电材料构建的自供电触觉传感器可在简单的触摸条件下轻松点亮数百盏LED灯，并产生9.8 cd/m2的光强度。利用壳聚糖高输出性能和自供电传感的特性，开发了一种新型的自供电触觉光映射手套，实现了手掌抓取状态和手势信息的实时远程可视化传感。值得注意的是，这种触觉手套具有无需外接任何电源即可完成触觉感知和可视化反馈的应用优势，将在人工智能、可穿戴电子设备等领域具有广阔的应用前景。

关键字 壳聚糖；摩擦纳米发电机；传感器；可穿戴电子设备

分类：主题 H 育人育才研究生论坛

142

**纤维素基仿生材料用于摩擦电增强水收集**

张松、王双飞、聂双喜

广西大学轻工与食品工程学院，广西南宁，530004

从大气水中获得清洁水，用于缓解日益严重的全球淡水资源短缺，是一种极具潜力的可持续解决方案[1-3]。本研究提出了一种新型的纤维素基仿生材料，结合自驱动的摩擦电吸附作用，应用于从大气中获取洁净水。纤维素基仿生材料启发于仙人掌刺和甲壳虫鞘翅，通过合成两亲性的纤维素酯涂层随后涂敷在激光雕刻的FEP刺表面，简单构造了双重仿生结构以实现液滴凝结和快速去除。值得注意的是，液滴与收集器之间自发的界面摩擦电荷被开发用于静电吸附。此外，液滴发电机将凝聚液滴产生的机械能通过体积效应转化为电能，实现了优异的电输出（点亮400盏LED灯），并通过外加电荷的方式进一步增强了非对称两亲性表面的静电吸附作用，实现了前所未有的高水收集效率（93.18 kg/m2 h）。这种自主交互的策略为设计新型水收集系统提供了新的洞见。

关键字 纤维素酯，仿生材料，摩擦电荷，大气水收集

分类：主题 H 育人育才研究生论坛

161

**磁诱导的气凝胶摩擦电材料用于高温触觉传感**

Mingchao Chi、王双飞、聂双喜

广西大学

可穿戴传感技术凭借实时感知环境态势，在人机交互领域显示出巨大应用潜力。受传感材料热机械稳定性差以及储能装置热失控的双重限制，目前可穿戴传感技术仍然难以突破高温应用的瓶颈。本研究首次通过原位耦合磁对准策略构建了三维取向结构耐高温气凝胶传感材料，设计了自供电可穿戴触觉传感器。得益于热稳定的柔性基底和三维取向结构的协同作用，气凝胶能够耐受 1100 ℃灼烧并保持形态相对完整。高热稳定性的传感材料使其能够实现在300 ℃下稳定可穿戴触觉传感。所展示的自供电可穿戴触觉传感器突破了高温限制，能够为智能防护服提供远超人类感知温度上限的触觉感知功能。

关键字 气凝胶，摩擦电材料，触觉传感器

分类：主题 H 育人育才研究生论坛

187

**磁性乙基纤维素颗粒的制备及其对水包水Pickering乳液的稳定**

周聪颖、刘石林

华中农业大学

      Pickering乳液是由固体颗粒进行稳定的一种乳液，因其对环境友好且用于稳定的固体颗粒可以重复利用，在食品、生物医药和环保领域应用广泛。而磁性纳米粒子体积小、比表面积大，具有良好的生物相容性、低毒性和磁响应表面效应，可以吸附在水-水界面来稳定水包水Pickering乳液,同时磁响应性水包水Pickering乳液可以在外场操控下实现乳液液滴的定向驱动，实现颗粒的回收利用和两相的分离。本研究通过反溶剂法合成Fe3O4磁性纳米粒子和乙基纤维素的复合体系，探讨其在水包水Pickering乳液体系构建中的应用。制备的磁性纳米粒子的 Zeta 电位为 -43.13 mV左右，磁性纳米复合粒子平均粒径在131.07 nm左右，研究发现磁性纳米粒子复合物倾向于吸附于水-水界面，在界面上形成空间能障来阻止乳液聚并，提高了水包水乳液的稳定性。该乳液体系具有良好的生物相容性，在微生物细胞的包埋、培养以及递送等领域具有独特的效果。

关键字 Pickering乳液；磁性纳米粒子；乙基纤维素

分类：主题 H 育人育才研究生论坛

206

**硫化物纳米粒子修饰多糖海绵的制备及其吸附-光催化降解染料的性能研究**

刘畅、游俊阳、庄旭品

天津工业大学

染料排放加剧了日益严重的水生态系统污染问题，光催化降解策略是目前去除染料污染最有吸引力的选择。然而，目前的光催化剂存在粒子团聚、高传质阻力和高操作成本等问题，限制了其进一步的开发和应用。本工作提出了一种水热诱导相分离-原位合成策略，并利用该策略成功制备出硫化物纳米粒子修饰的壳聚糖/纤维素海绵(硫化物纳米复合海绵)。所制得海绵展现出高孔隙率、低体积密度、出色的可压缩性和均匀固载的硫化物光催化纳米粒子。受益于多糖海绵骨架与染料的亲和性与硫化物纳米粒子的高光催化活性，硫化物纳米复合海绵展现出新颖的吸附-光催化协同降解模式。通过不同原料制备的硫化物纳米复合海绵具有卓越的刚果红和亚甲基蓝去除效率(96.53 % 和98.38 %)与良好的重复使用性。这项研究为染料污染物的去除提供了一种可持续解决方案。

关键字 染料去除；纤维素；壳聚糖；硫化物纳米粒子；吸附-光催化降解

分类：主题 H 育人育才研究生论坛

216

**Co单原子与纳米粒子协同作用选择性合成**

**生物基苯并咪唑**

王宝宇、李虎

贵州大学

金属的有限尺寸效应（Finite size effect）与多相催化活性和选择性密切相关，但针对特定的级联反应，可能会因活性位点不足而受到影响。本工作制备了一种具有Co单原子和Co纳米粒子共存的双尺寸N掺杂钴催化剂。这种多相催化剂在生物醇（糠醇）的级联脱氢和硝基还原中表现出与贵金属的活性相当甚至优于贵金属的催化活性。对照实验表明，协同效应显着增强了2-取代苯并咪唑的选择性。原子级分散的Co在糠醇脱氢中具有更高的活性，而Co纳米颗粒可以促进2-硝基苯胺的还原。此外，催化剂碱度对取代的苯并咪唑产品分布中起着重要影响。该Co基催化剂在广泛的底物中表现出良好的可重用性和对敏感官能团的高耐受性。本研究不仅为合成各种苯并咪唑衍生物提供了可能性，而且有助于开发双尺寸金属催化策略以实现生物质及其衍生物的增值。

关键字 生物质转化；协同效应；单原子催化剂；氢转移；级联反应

分类：主题 H 育人育才研究生论坛

224

**生物质基呋喃类平台分子升级为可再生异吲哚啉酮化合物的研究**

徐峰、李虎、杨松

贵州大学

近年来，随着不可再生能源的日益枯竭，采用Diels-Alder (DA) 环加成-芳构化策略将来源广泛的呋喃类生物质衍生平台分子升级到可再生功能化芳烃已引起广泛关注。然而，提高DA环加成平衡、控制DA加合物的区域选择性和增加其稳定性等方面仍存在着挑战。据此，我们提出了一种分子内环芳构化策略，在液相条件下可将生物质基糠醛直接升级到高附加值异吲哚酮化合物。合成的Zn-BTC-SA催化剂可显著提高分子内DA环加成效率，可定量形成具有较高热稳定性的外型DA加合物。同时，酸性离子液体([Hmim]HSO4)的共存可实现后续芳构化定量获得异吲哚酮化合物。这一策略克服了通过级联DA环加成/芳构化反应生产可再生芳烃的固有问题。此外，该路径适用于生产多种可再生异吲哚酮衍生物，收率极佳(>92%)。

关键字 生物质转化；Diels-Alder 环加成；芳构化；呋喃；异吲哚啉酮

分类：主题 H 育人育才研究生论坛

240

**纤维素基柔性多感官仿生电子皮肤**

姜舸媛1,2、赵大伟2

1. 沈阳工业大学

2. 沈阳化工大学

电子皮肤（e-skin）是一种新兴的柔性可穿戴设备，可应用于软体机器人、人体健康情况监控和医学治疗设备等领域，在近二十年内得到了蓬勃发展[1-2]。然而，现有的大多数电子皮肤制备程序复杂，传感能力单一，可扩展性不足，使得电子皮肤的性能开发与先进应用受到极大限制。基于此，我们创新地提出了一种简单的一步式引入热离子源的策略，实现纤维素纤维原位分子化拓扑调控，可控地构建了结构与性能均有可设计性的纤维素分子化凝胶（M-gel）。M-gel中分子尺度氢键交织网络与纳米级纤维骨架的协同作用构成了独特多尺度结构，赋予了M-gel出色的机械性能（高达7.8 MPa）和离子电导率（高达62.58 mS/cm）。以人类舌头的结构与反馈机制为灵感，在该分子化凝胶中设计仿生感知区域，成功构建了一种多感知的柔性电子皮肤。这种仿生电子皮肤可以感知压力、触摸振动、湿度、温度、磁力等刺激信号，并能够根据电流信号波形的形状和面积对刺激种类进行相应性辨别。本研究为柔性离子凝胶及电子皮肤的结构与性能的设计提供了一种简单、高效、可控、低碳且可扩展的方法，为其他软功能材料的结构与性能开发及前沿性应用提供了借鉴思路。

关键字 纤维素；多尺度设计；结构调控；分子凝胶；电子皮肤

分类：主题 H 育人育才研究生论坛

258

**纤维素两性聚电解质的合成、性质及其功能材料**

周金平、张皓东、尤俊

武汉大学

两性聚电解质是指分子链上同时含有正负电荷基团的分子。由于带电基团之间静电相互作用，导致它有许多与仅含一种电荷的阴、阳离子聚电解质不同的特性。近年，两性聚电解质因其独特的性质而广泛应用于海洋防污、膜分离、能源存储与转化和生物医用等诸多领域，并成为当今物理、化学和高分子材料的交叉学科和研究热点。基于此，我们以碱/尿素水溶液为纤维素溶剂和均相反应介质，通过Williamson醚化反应和迈克尔加成反应分步将带正电荷的季铵基和负电荷的羧乙基引入到纤维素的分子链上，合成了一种新型纤维素基两性聚电解质（CEQC）。通过改变醚化剂与纤维素的投料比以及反应时间与温度，得到具有不同正、负电荷的CEQC。CEQC表现出典型的反聚电解质效应，具有良好的耐盐性，同时具有pH响应特性。CEQC具有良好的生物活性，在干细胞培养方面具有潜在应用。基于CEQC的双网络水凝胶可作为水系锌电池的电解质，有利于实现无枝晶、高可逆和超稳定的锌负极。

关键字 纤维素两性聚电解质，均相合成，取代度，水凝胶

分类：主题 H 育人育才研究生论坛

298

**超拉伸、自修复和形状自适应的纤维素导电水凝胶**

万慧雄、吕昂

武汉大学

      在21世纪，科学和技术的快速发展导致了对具有高能量密度、高灵敏度和可持续性的柔性可穿戴电子设备的需求爆炸性增长。导电水凝胶由于具有灵活的三维聚合网络和离子传输的水环境，已被视为柔性可穿戴电子设备的理想材料。纤维素是来源最广泛的天然聚合物之一，具有良好的生物相容性、可降解性和无生物毒性，与合成高分子相比表现出独特的优势并且符合绿色化学的原则。在这项工作中，首次通过溶剂辅助方法制备了具有超拉伸、自修复和形状自适应性的MXene/纤维素/苄基三甲基氢氧化铵（MCB）水凝胶。在我们之前的工作中，开发了一种能高效溶解纤维素的苄基三甲基氢氧化铵溶剂，并能在室温下长时间保持纤维素溶液的稳定。基于这种稳定的溶剂，MXene作为关键交联点，在纤维素和溶剂之间建立一个动态交联网络。首先，由于该溶剂体系中的氢键和疏水相互作用破坏了原本紧密的纤维素链，因此保证了链段运动。其次，MXene的引入与纤维素形成大量的动态键-氢键。这成为自愈性和超伸展性的关键原因。基于MCB水凝胶的独特性能，它们分别应用于电子皮肤和储能材料，显示出潜在的优异性能，证明了在这两个领域的实用性。

关键字 MXene 纤维素 导电水凝胶 超级电容器 传感器

分类：主题 H 育人育才研究生论坛

309

**基于簇重构策略构筑长寿命、颜色可调、可加工室温磷光纤维素**

高倩、吕保中、彭锋

北京林业大学

  开发颜色可调的有机室温磷光材料在光电领域具有重要意义但存在挑战性。本文利用氧化还原反应，从簇聚结构和环境两方面调控纤维素的簇发光中心，构建长寿命、颜色可调的磷光纤维素。2,3-二醛纤维素（DAC）和2,3-二羧酸纤维素（DCC）中不饱和C=O的n-π\*跃迁可增强自旋-轨道耦合，有助于三线态布居，促进磷光发射。其中，DAC显示独特的时间依赖性余辉，DCC产生具有更高能量的蓝色余辉。还原的DAC（RDAC）因具有更刚性的结晶结构展现799 ms的超长寿命。最后，基于磷光纤维素的长寿命、磷光颜色可调、可加工等特点，将其成功应用于磷光油墨、防伪、信息加密。

关键字 纤维素， 颜色可调室温磷光， 簇重构

分类：主题 H 育人育才研究生论坛

310

**木聚糖基双模余辉碳化聚合物点的可控构筑及应用**

史美超、吕保中、彭锋

北京林业大学

       室温磷光（RTP）及热激活延迟荧光（TADF）材料因其在防伪、信息加密、光学设备和生物成像等领域具有巨大应用潜力而受到研究者的广泛关注。然而，大多数余辉材料只表现出单模RTP或TADF，且在水中余辉会被淬灭。本工作将造纸厂半纤维素副产物木聚糖转化为羧甲基木聚糖，进一步通过水热合成磷光碳化聚合物点（CMX-CPDs），将其限制在二氧化硅中构建RTP和TADF双模余辉碳点（CMX-CPDs@SiO2），其粉末具有1.5 s的超长寿命，且可在水里发射余辉。双模余辉赋予CMX-CPDs@SiO2独特的时间依赖余辉特性，余辉颜色随延迟时间从蓝色到绿色转变。基于这种余辉颜色演变特性，可将CMX-CPDs@SiO2应用于高级防伪和数据加密。

关键字 木聚糖，碳化聚合物点，热激活延迟荧光，室温磷光，时间依赖性余辉

分类：主题 H 育人育才研究生论坛

323

**甲壳素和壳聚糖季铵盐的均相合成及抗菌研究**

陆艺文、蔡杰

武汉大学化学与分子科学学院

甲壳素和壳聚糖具有良好的生物相容性和生物可降解性，且脱乙酰度对其生物活性起到重要影响。然而，甲壳素和壳聚糖难以溶解在常见溶剂中，限制了它们的改性及应用。本实验室开发出KOH/尿素低温溶解体系，可用于快速溶解甲壳素和壳聚糖。在之前的工作中，我们在KOH/尿素体系中均相制备了甲壳素和壳聚糖季铵盐，产物显示出良好的抗菌和抗生物膜效果，同时不会导致耐药性的产生，在感染创面的治疗方面表现出优异的效果。在此基础上，我们使用脱乙酰度为99%的壳聚糖原料，采用新型溶剂体系均相合成了高脱乙酰度壳聚糖季铵盐。所得产物的抗菌和抗生物膜效果得到进一步提高，且能有效杀死抗生素处理产生的持留菌。本工作为甲壳素和壳聚糖的均相衍生化提供了新思路，制备的高脱乙酰度壳聚糖季铵盐具有出色的抗菌性和生物相容性，在对抗细菌耐药性方面具有巨大潜力。

关键字 甲壳素 壳聚糖 均相合成 抗菌 抗生物膜

分类：主题 H 育人育才研究生论坛

325

**基于Hofmeister效应制备高强韧壳聚糖气凝胶**

张珂

武汉大学

气凝胶在绝热保温、催化、吸附分离等领域有着广泛的应用，通常需要对气凝胶 的微观结构和力学性能进行调控以满足特定需求. 然而，开发绿色技术制备高强韧天然 高分子气凝胶仍然面临巨大的挑战. 前期工作中，我们通过对纤维素和甲壳素纳米纤维 网络结构的调控，建立了纤维素和甲壳素气凝胶合成新方法[1-3]。本文报道了在壳聚糖 新溶剂中基于 Hofmeister 效应调控壳聚糖分子链的侧向聚集和重结晶，影响壳聚糖水 凝胶和气凝胶的微观形貌、孔隙结构和力学性能等物理性质，构建出高强韧壳聚糖气 凝胶. 通过改变盐的种类，可以有效调控壳聚糖水凝胶和气凝胶的力学性能，并显示出 遵循 Hofmeister 序列的规律. 壳聚糖气凝胶的拉伸强度、杨氏模量和断裂功最高可达 (23.1 ± 0.4) MPa、(198.0 ± 43.8) MPa 和(9.6 ± 0.9) MJ/m3，比表面积最高可达 410  m2 /g. 这种简单策略有助于制备高强韧壳聚糖气凝胶，在柔性电子器件、组织工程材 料、药物/蛋白载体和催化等领域有潜在应用前景.

关键字 壳聚糖 气凝胶 hofmeister效应

分类：主题 H 育人育才研究生论坛

326

**非对称纤维素基智能无纺布用于糖尿病伤口愈合**

许展、崔玉倩、田卫国、张军

中国科学院化学研究所

糖尿病无法愈合的伤口已成为威胁公共卫生的重大问题，也是再生医学面临的重大挑战。一般来说，高血糖组织渗出、氧化应激反应和神经/血管病变是阻碍糖尿病伤口愈合的主要原因。因此，高效的伤口渗出物管理能力是加速糖尿病伤口愈合的必要因素之一。此外，对于糖尿病患者来说，不定期更换敷料是一个需要认真对待的问题，而有意设计的智能敷料可以监测伤口愈合的过程，并明确提示何时更换敷料，在缺乏必要的护理专业知识的情况下，可以减少糖尿病患者的经济负担和医疗护理的难度。本研究先后运用同轴气流牵伸及静电纺丝法，制备了兼具渗出液管理 (单向导液)、实时监测伤口 (可监测范围: pH 5-9)、抗菌 (S. aureus,100%; E. coil,100%)、抗氧化 (DPPH scavenging efficiency, 95%)的多功能纤维素基无纺布，在糖尿病 I 型大鼠伤口展现了优异的促愈合效果，14 天后愈合率高达 97.2%，而对照组（纱布）仅为 79.1%。此外，由于是无纺布的疏水层接触伤口，可降低伤口新生组织和敷料之间的粘附强度，减轻更换时的疼痛，避免再次损伤。本研究旨在为患者提供一种简便的监测手段，成为临床应用上的优秀候选材料。

关键字 纤维素；糖尿病；伤口愈合；无纺布

分类：主题 H 育人育才研究生论坛

332

**利用绿色三元深共晶溶剂制备耐火性综纤维素纳米纤维膜**

叶杰睿、李倩、高月兵

浙江农林大学

     三元深共晶溶剂（TDES）是一种新开发的用于纤维素材料预处理的溶剂，具有低毒、低成本、可回收性和可控性等优点。在本文中，我们设计了一种N/P/S协同的绿色TDES，对综纤维化学预处理，结合机械研磨法，制备出具有本征阻燃性的纳米综纤维素纤维（PCNF）。结果证实，N/P/S元素成功地引入到PCNF骨架中，赋予薄膜优异的耐火性、机械性能和光学性能。PCNF的直径在3-10nm，悬浮液可以静置三个月保持稳定。在耐火试验中，预处理后的薄膜极限氧指数（LOI）高达52.5%，总放热率（THR）和峰值放热率（PHRR）分别显著降低92.2%和82.44%；同时薄膜作为包装时隔热性好，在移除热源后，可有效起到保护作用。在力学性能测试中，在最佳条件下制备的PCNF薄膜的拉伸强度和断裂伸长率分别达到140.5MPa和20.46%，与处理前相比分别提高了167.6%和61.5%。在800 nm处，PCNF膜的紫外-可见光透射率达到91%，比处理前提高了154%。本工作旨在促进TDES溶剂对生物纤维材料的化学改性研究，以及生物质包装材料的绿色阻燃功能化。

关键字 深共晶溶剂 综纳米纤维素 耐火包装薄膜

分类：主题 H 育人育才研究生论坛

358

**基于改性淀粉和纤维素层层自组装构筑人工孢子壳层的构效研究**

贺斌、方一帆、成琳、郑旭磊、王科尧、朱兴

陕西科技大学轻工科学与工程学院

       单细胞纳米封装技术制备的细胞纳米核壳结构在细胞治疗、再生医学等方面具有多种实际应用，但目前层层自组装（LBL）进行单细胞包埋使用的材料多为合成聚电解质，研究已经表明合成聚电解质对细胞存在着不可避免的细胞毒性问题。本文选用两种天然阴阳离子型聚电解质：羧甲基纤维素（CMC）和季铵化淀粉(QS)，利用静电吸附作用在酵母细胞表面反复沉积6次后形成聚电解质包覆的酵母细胞（记为cell（QS/CMC）3/3）,为了提高LBL法制备的壳层耐久性，另在第6层选用CMC与海藻酸钠（ALG）复配后进行沉积，再通过Ca2+对壳层交联加固（记为cell（QS/CMC）3/2(CMC-ALG)Ca2+）。在30 ℃不同Ph（3、4、5、6、7、8）的24 h发酵实验中，随着发酵液的Ph值升高，包埋及加固组的酵母细胞乙醇产率均在93%以上，而游离组的产率逐渐降低至86.8%，该单细胞纳米壳层提高了酵母细胞在极端环境下的耐受性并保证了发酵能力。

关键字 淀粉、纤维素、层层自组装、单细胞包埋

分类：主题 H 育人育才研究生论坛

369

**疏水纳米纤维素稳定Pickering乳液的制备及在油基钻井液中的应用研究**

刘馨月1、李美春1,2、孙金声2、吕开河2

1. 南京林业大学

2. 中国石油大学（华东）

        油包水（W/O）乳液型油基钻井液具有井壁稳定以及润滑性能优异等优点，已被广泛用于深层油气钻探，但其乳液体系的稳定性能和环境友好性仍需进一步改善。纳米纤维素作为一种绿色友好型的颗粒稳定剂，展示出高乳液稳定能力和良好环境友好性等特点，已被广泛用于制备Pickering乳液以及功能化材料。然而，纳米纤维素的天然亲水性导致其稳定的Pickering乳液主要是以水包油（O/W）的形式存在，这大大限制了其在高性能油基钻井液中的应用。本工作以TEMPO氧化的纳米纤维素纤丝（CNF）和硫酸水解纤维素纳米晶体（CNC）为原料，采用月桂酸乙烯酯对纳米纤维素进行酯化疏水改性，通过改变反应时长来调控疏水性纳米纤维素表面的亲疏水性，进一步将其作为固体颗粒稳定剂制备油包水（W/O）型生物柴油基Pickering乳液及钻井液，评价钻井液的滤失和流变性能。结果表明，相比于高长径比的CNF，CNC尺寸较小、比表面积更高，具有更多的羟基来进行酯化疏水改性。酯化改性CNC的水接触角随着反应时间的延长而增大，最高可到123.1° ± 0.73°。为获得W/O型Pickering乳液，对酯化改性CNC的浓度、CNC的表面润湿性和乳化方法进行优化。研究发现，当酯化改性CNC浓度为1 wt%，水接触角为41.0° ± 0.57°以及采用研磨-超声结合方法乳化40 min后，制得了粒径均一的W/O型Pickering乳液（图1）。此外，疏水改性CNC稳定的W/O型Pickering乳液型钻井液展示出较低滤失量以及良好的流变性。

关键字 纳米纤维素；酯化改性；Pickering乳液；钻井液

分类：主题 H 育人育才研究生论坛

371

**双轴取向甲壳素复合水凝胶的性能研究**

王贺贺1、王成龙1,2、常春雨1

1. 武汉大学化学与分子科学学院

2. 武汉科技大学化学与化工学院

       可吸收生物材料的研究与开发是骨折内固定材料的重点研究方向，可吸收类材料可以避免金属材料带来的二次手术伤害和相关的经济负担。甲壳素因其优异的机械强度、生物相容性和可降解性已被广泛用于医学应用研究。但因甲壳素基水凝胶溶胀率高导致机械强度不稳定，限制了其在骨折内固定的应用。本工作选取自然骨中主要的无机成分纳米羟基磷灰石与甲壳素复合，并采用化学交联剂1,4-丁二醇二缩水甘油醚和双轴拉伸策略制备了各向异性的甲壳素/纳米羟基磷灰石复合水凝胶。双轴取向后甲壳素水凝胶由各向同性转变为面内取向，形成了平面取向水凝胶网络。实验结果表明，经过双轴取向的甲壳素/纳米羟基磷灰石复合水凝胶的溶胀率在平面方向大幅度降低（降幅>100%）。SEM图像显示纳米羟基磷灰石均匀地分散在甲壳素水凝胶中，与甲壳素形成紧密的界面，在提高甲壳素水凝胶强度的同时保持纳米羟基磷灰石良好的骨传导性和生物相容性。

关键字 甲壳素 双轴取向 水凝胶

分类：主题 H 育人育才研究生论坛

374

**力学与美学共存的超结构再生纤维素纤维**

傅晓童

江南大学

高性能纤维被广泛应用于特种服饰、航天航空、风电叶片、新能源汽车和建筑加固等涉及结构工程领域[1, 2]。目前国内外常用的高性能纤维主要包括含碳纤维、有机纤维和陶瓷纤维等。这类纤维力学性能优异，但生产过程复杂、能耗大、成本高、原料不可持续，并存在不可降解的特点，因此天然可持续高性能纤维的开发日益紧迫。围绕天然材料的高性能纤维化开发则侧重于动植物纤维[3]，但动物纤维受限于季节、生长周期等条件，导致动物类高性能纤维的产量一直未得到提升。而纤维素作为储量最丰富的天然可再生生物质材料是生产高性能纤维的上乘之选。目前基于高强度生物质纤维的制备思路主要集中于一维有序化与致密化堆积，极大提高断裂强度的同时也显著降低其断裂应变。因此，我们基于碱/尿素纤维素溶剂体系，发展一类纤维素溶液双交联预处理方法，开发湿法和微流控纺丝方法在微纳米流道内对纤维素溶液的空间分布、空间取向结构实现精确操控，构筑出超结构、美学、极高强度（可达600 MPa）和韧性（184 MJ m-3）的再生纤维素纤维。通道内溶液运动及分布通过流体力学模拟、原位拉曼成像等方法实现可视化呈现；超结构纤维的高应变形变过程也被有限元分析详细研究。我们通过系统梳理双交联策略在再生纤维素纤维新结构制备、新性能提升和新应用开发的研究，启发甲壳素、壳聚糖等其他聚多糖的研究。

关键字 力学，美学，纤维素纤维

分类：主题 H 育人育才研究生论坛

375

**多基团功能化秸秆纤维对铜和磺胺甲恶唑的共吸附机制研究**

伦乐豪1、郑刘春1、苏耀明2

1. 华南师范大学环境学院

2. 生态环境部华南环境科学研究所

重金属和抗生素的复合污染已经成为日益关注的热点问题，许多研究发现其联合毒性一般比单一毒性更严重。重金属和抗生素复合污染物具有复杂的环境行为（如络合与协同），这对吸附材料治理污染水体带来了挑战。本研究通过选用天然玉米秸秆作为原料，以化学改性对其内部的纤维素进行修饰，引入了对重金属和抗生素具有吸附功能的羧基和胺基基团，达到以废治废的目的。本研究选用Cu（II）和磺胺甲恶唑（SMZ）作为目标复合污染物，对一元和二元体系进行一系列批量吸附实验并结合密度泛函理论计算，系统研究了改性秸秆纤维的吸附性能和机理。由实验结果发现，该材料具有优秀的pH适应能力，并在一元和二元体系的最佳吸附pH值均接近实际水体，在吸附6h后达到吸附平衡且符合伪二阶动力学模型，该材料性能比本课题组先前研究成果更进一步。在二元体系下， Cu（II）与SMZ产生络合后加速了Cu（II）的吸附，这种情况可归因于静电屏蔽和桥接作用。

关键字 秸秆纤维素，重金属，抗生素，吸附，密度泛函理论计算

分类：主题 H 育人育才研究生论坛

377

**功能化再生纤维素微球吸附剂用于吸附胆红素**

高佳音1,2、常春雨1、罗晓刚2

1. 武汉大学化学与分子科学学院

2. 武汉工程大学化工与制药学院

       目前血液灌流用胆红素吸附剂多为无机-有机复合材料和合成高分子材料生物相容性较差，易引发副作用，纯生物质材料因具有良好血液相容性、细胞相容性的优点，在构建高吸附性能的生物医用胆红素吸附剂上具有巨大潜力。本工作采用一步法将相变溶菌酶与再生纤维素微球表面通过氢键和静电相互作用进行包覆，制备功能化的PTL@RCS复合微球。PTL@RCS复合微球上含多种氨基酸残基（包括羧基、羟基、氨基和巯基）[1]，在拟人体血液环境中表面带正电且具有一定的疏水性，对带负电的疏水性分子胆红素分子产生静电吸附和疏水相互作用结合，同时，PTL@RCS可对胆红素分子进行有效物理吸附，实现了对血液中胆红素的有效去除。这项工作所设计的新型天然高分子血液灌流用吸附剂为应对血液中高效胆红素的多重挑战提供了一种绿色、高血液相容性且低成本的方法。

关键字 纤维素 溶菌酶 胆红素 血液灌流

分类：主题 H 育人育才研究生论坛

382

**纳米纤维素基柔性锌离子电池电极界面的浸润性调节及性能研究**

张萌、徐婷、司传领

天津科技大学轻工科学与工程学院，天津 300457

      柔性锌离子电池由于具有安全性高，储备容量大，成本低，可承受机械变形的特点，可作为可穿戴电子设备的良好电源器件。柔性锌电池的主要组成包括电解质，隔膜和电极。有研究发现改进电极浸润性可以提高柔性电池的电化学性能。本文采用水热法在碳布（CC）上生长出一种MnO2纳米片。并基于纤维素纳米纤维（CNF）/CNT的协同作用设计了具有不同浸润性的CNF/CNT/MnO2纳米片正极材料。随着CNF含量的增加，电极的接触角逐渐降低，电极从疏水材料变为亲水材料。其中，相应的电池性能显示出抛物线趋势。实验结果表明，适当的提高电极的浸润性，有利于Zn2+的扩散。此外，基于CNF/CNT/MnO2组装的柔性锌离子电池在1000次循环后显示出稳定的输出电压，在0.1 A g-1的电流密度下，比容量为89.7 mA h g-1。即使在不同的弯曲角度下，它也成功地点亮了LED灯泡，显示出良好的灵活性。

关键字 纳米纤维素，锌离子电池，浸润性

分类：主题 H 育人育才研究生论坛

391

**序构化纤维素纳米流体复合材料及其渗透能**

**转化应用**

周炳林

安徽农业大学

石油资源的日渐消耗已经引发愈发严重的环境问题及能源危机，因此发展新的能源获取方式迫在眉睫。海水与河水之间的渗透能取之不尽、用之不竭，收集并利用渗透能是实现清洁能源获取的一种有效形式，核心在于构建具有选择性离子输运性能的纳米流体离子导体材料。纤维素具有天然可再生、可降解特点，因此设计制造基于纤维素基纳米流体系统实现高效渗透能转化从材料构成到应用形式都符合绿色可持续发展战略。以可再生、可降解的天然纤维素（棉短绒和海藻）为原料，利用多种序构化策略构筑具有取向性带电纳米通道、高离子选择性和高离子传输速率的再生纤维素纤维基、膜基以及气凝胶基纳米流体离子导体功能材料，并对这些材料进行系统创新性基础研究，实现可控的取向纳米通道结构设计、空间电荷密度调控、离子输运行为控制和渗透能转化应用研究，符合可持续发展战略。

关键字 纤维素；纳米流体；渗透能转化

分类：主题 H 育人育才研究生论坛

393

**具有高表面增强拉曼散射性能的有序纳米褶皱纤维素复合膜**

林泽婉

五邑大学

食品安全作为公共卫生问题，严重危害着人民的生命与健康。为了解决这一问题，我们利用自然界中广泛存在的可再生材料——纤维素，制备出柔性表面增强拉曼散射基底材料，用以检测农作物表皮的农药残余。在碱/尿素纤维素溶剂体系中, 通过自下而上的制备策略，在外力辅助作用下制备出具有表面有序纳米级褶皱结构的纤维素水凝胶[1]，在原位合成的作用下Ag纳米粒子被附着在纤维素膜的表面，最后干燥得到具有表面纳米级褶皱的纤维素/Ag NPs复合膜（NWCF-Ag）。由于制备策略的优越性，这种纳米级表面褶皱结构是可控的，且得到的膜材料有着良好的的柔韧性及透光性。以R6G作为探针分子测得检测限为10-9M，增强因子可达到2.3x108，RSD为7.6%，说明材料具有良好的空间信号均匀性，针对福美双的检测限可达到10-9M，进一步推动了柔性纤维素基材料在SERS方面的研究进展及应用。

关键字 纤维素；表面增强拉曼散射

分类：主题 H 育人育才研究生论坛

395

**纤维素纳米纤维/MXene电磁屏蔽功能复合材料**

麦田

北京林业大学

随着电子设备的不断小型化和多样化，轻量化的电磁屏蔽材料越来越受到人们的关注。2D的高导电性MXene材料被广泛应用于电磁屏蔽领域，然而MXene固有的自堆叠特性和低的力学强度限制了其发展。纤维素纳米纤维由于其高力学强度、易于化学改性和绿色可降解的特点，可以通过将1D 纤维素纳米纤维和2D MXene进行复合，从而构建出具有高性能的电磁屏蔽功能复合材料。在本次报告中，通过两步真空抽滤和增材制造的方法制备了纤维素纳米纤维/MXene电磁屏蔽功能复合材料，并探究了其电磁屏蔽性能和屏蔽机理，希望本文能在未来的电磁防护材料的研究和发展提供一定借鉴意义。

关键字 纤维素纳米纤维；MXene；电磁屏蔽；

分类：主题 H 育人育才研究生论坛

398

**仿人工肌肉的具有快速响应、超高工作能力的各向异性驱动器**

孙友霞1,2、常春雨1、薛晓凡1

1. 武汉大学化学与分子科学学院

2. 武汉工程大学化工与制药学院

       人体的肱二头肌通过数百万个驱动部件的定向协调运动才能产生宏观力。这些驱动部件由肌动蛋白和肌球蛋白超分子聚合物组成，这些聚合物连接到肌联蛋白的大分子支架上，它们共同形成肌节。肌节在宏观尺度上的排列结构为作为各向异性驱动器的软材料的发展提供了源源不断的灵感。在这项工作中，我们仿生人体骨骼肌设计了一种具有各向异性结构的形状记忆软驱动器，该驱动器在高温环境中能快速变形并提升重物，表现出超强的做功能力和超快的变形速度。这种形状记忆驱动器是由“硬”的海鞘纤维素纳米晶填料与“软”的聚己二酸/对苯二甲酸丁二醇酯（PBAT）组成的薄膜。在海鞘纤维素纳米晶表面接枝长链聚乳酸链段，通过分子链的物理缠结和氢键相互作用，使基体与纳米填料之间形成良好的界面相互作用。海鞘纤维素纳米晶的加入显著地提高了复合薄膜的力学性能，当海鞘纤维素纳米晶的含量增加到一定程度时，复合薄膜的拉伸强度、断裂伸长率、弹性模量和韧性均有显著提高，尤其是复合薄膜的韧性—2300%的断裂伸长率。复合薄膜在拉伸应力下伸长，在热刺激下收缩，具有优秀的形状记忆效应。牵伸过程中的结晶取向和晶型转变赋予了复合薄膜形状固定的能力。复合薄膜中结晶的熔融和再生赋予了复合薄膜热驱动能力。当预牵伸应变为2300%且并未负载应力时，复合薄膜的形状固定率为95%，形状回复率达到82%。掺杂mTCNC能显著提高复合薄膜的结晶能力，形状记忆和形状回复能力，热驱动做功能力。复合薄膜表现出快速的驱动性能（11% s-1）和强大的做功能力（918 J kg-1）。驱动器在多次循环使用之后驱动性能稳定。同时，复合薄膜具有全降解和低成本的优势，在软机器人、驱动器、人造肌肉、智能纤维、4D打印等方面具有应用前景。

关键字 人工肌肉，形状记忆，纳米纤维素，驱动

分类：主题 H 育人育才研究生论坛

399

**纳米纤维素/MXene多功能两性离子水凝胶用于柔性应变传感器**

郭文艳

北京林业大学

在数字化和大数据时代，人们越来越倾向于利用传感器来应对重大挑战，提高生活质量。为了克服传统刚性传感器的局限性，具有良好的生物相容性、可调配的力学性能、与生物组织相似的柔软性和三维仿生结构的水凝胶在柔性电子领域中脱颖而出。然而传统的基于导电水凝胶的柔性传感器在极端条件下的不稳定、附着力差、机械强度低以及不可降解等问题阻碍其发展及应用。纤维素纳米纤维来源广泛，具有绿色环保可再生以及优异的力学性能和生物相容性，可以通过将1D的纤维素纳米纤维和2D MXene纳米片进行复合，构建具有多功能的两性离子水凝胶用于柔性可穿戴传感器。在本次报告中，通过一锅法在一分钟内制备了具有高导电性、防冻和共形黏附的两性离子水凝胶，用于柔性可穿戴传感器和阵列，并探究相关黏附机理和防冻机理等，希望本文的水凝胶能成为柔性可穿戴传感器的有前途的候选者，为健康检测和人机交互等领域提供一个思路。

关键字 两性离子水凝胶；防冻；共形黏附；3D阵列

分类：主题 H 育人育才研究生论坛

405

**极性非质子溶剂高效辅助新型超碱离子液体实现纤维素室温静电纺的研究**

王小宇、郑文秋、李鑫、许凤

北京林业大学

       纤维素是地球上储量最为丰富的天然高分子材料，通过静电纺丝技术制备纤维素纳米纤维，能够进一步拓展其应用领域和市场价值。基于此，本文结合团队前期研究工作[1-3]，利用一种具有优异耐腐蚀性和环境稳定性的新型超碱离子液体（SIL）作为纤维素溶剂，研究了极性非质子溶剂作为共溶剂在纤维素溶解中的作用机理，并通过其调控高浓度纤维素溶液电纺性能以实现纤维素的高效可纺。一方面，本研究通过偏振光显微镜、Kamlet-taft参数、NMR以及Walden图等监测和分析了共溶剂辅助SIL溶解纤维素过程以及共溶剂与SIL间相互作用关系，表明了共溶剂能够改善SIL溶剂化作用，提升载流子传输能力，从而提高纤维素溶解效率。另一方面，基于SIL/共溶剂体系的纤维素溶液性能分析以及电纺纤维结构和性能结果表明，本研究的纤维素溶液具有优异的电纺性，能够连续、稳定地制备直径约200 nm的纤维素纳米纤维。这项研究工作将为纤维素的高附加值利用以及复合功能化纳米纤维的开发提供理论支持和技术参考。

关键字 纤维素，离子液体，纳米纤维，静电纺丝，共溶剂

分类：主题 H 育人育才研究生论坛

406

**木质素基可降解复合薄膜的创制与多功能应用**

张艳、李强

华中农业大学

开发可生物降解塑料产品取代现有塑料是解决“白色污染”最有效的路径之一。木质素具有可再生、抗紫外、成本低等优点，具有取代现有塑料的潜力。然而木质素成型性差，需要与客体塑料复合加工。聚对苯二甲酸-己二酸丁二醇酯（PBAT）是一种可生物降解的合成高分子，具有很好的成型性，但分子柔韧、价格昂贵、光稳定性差，这些性能与木质素形成良好的优劣互补。因此，将木质素与PBAT复合，可制备出可生物降解的木质素基膜材料。然而，原始的工业木质素与PBAT混合后界面相容性差，膜材料力学性能低。基于此，本研究开发了基于木质素自身活性官能团的定向化学改性策略，改性后的木质素以60%含量作为主体与PBAT复合，所制备的薄膜材料不仅具有良好的机械性能，还具有优良的抗紫外和热稳定性。该复合膜作为可降解农膜用于果园控草和作物保温增墒，同时作为食品包装膜和可降解塑料袋得以利用，展现出了其在农业、食品包装、日用消耗品等多领域全面代塑的巨大潜力。

关键字 木质素复合膜；多功能应用

分类：主题 H 育人育才研究生论坛

408

**生物炭表面结构智能设计用于氨氮废水修复**

杨争鸣1、李强1,2、曹红亮1

1. 华中农业大学工学院

2. 华中农业大学园艺林学学院

生物炭是一种新型生物质衍生炭基材料，被广泛用于修复氨氮废水。然而，生物炭的吸附性能受制于其结构设计，尤其是生物炭表面结构与氨氮吸附性能的构效关系尚不明确。本研究提出了一种基于DFT计算的生物炭表面结构设计新策略，通过计算生物炭表面共六种氮氧官能团与NH4+的吸附能，证实了生物炭对NH4+的吸附性能关键在于其表面氮氧官能团的存在形式。采用DFT进一步对不同氮氧官能团的吸附机理进行了计算，吡啶氮和羰基官能团有效增强生物炭对NH4+的静电吸引，并分别通过电荷辅助氢键和普通氢键主导NH4+吸附。基于以上计算结果，本研究采用“共热解掺氮-KHCO3调孔-低温空气氧化”方法制备了高氮氧官能团含量的生物炭，并进行了氨氮吸附实验。生物炭中充分的孔隙结构保证了氨氮的扩散和捕捉，吡啶氮和羰基官能团掺杂显著提高了生物炭的氨氮吸附性能，高达11.7 mg/g。本研究可为生物炭表面结构智能设计开发下一代清洁水技术提供科学指导。

关键字 生物炭；氮氧官能团；表面结构设计；DFT计算；氨氮吸附

分类：主题 H 育人育才研究生论坛

411

**多功能纤维素纳米晶添加剂电解液助力超高倍率性能和超长循环寿命的锌金属电池**

吴庆、杨宋

贵州大学材料与冶金学院

       水系锌离子电池具有低成本、无毒性、高安全性、高理论比容量（820 mAh g–1或5855 mAh cm−3）、低电化学电势（−0.76 V，与标准氢电极相比）及对环境友好的优点，在大规模智能电网和固定储能中具有巨大的应用潜力。然而，锌金属电极界面上的枝晶生长和副反应所产生的巨大障碍，仍然阻碍了水系锌离子电池的大规模推广。

       在此，我们提出通过引入一种多功能添加剂纤维素纳米晶（CNC）来解决关键问题，以减缓界面反应问题和提升锌沉积/剥离速率。CNC表面丰富的羟基和羧基官能团，能改变锌的溶解化结构，通过参与接触离子对的构成来抑制副产物的形成。同时，CNC表面的强化学吸附活性，能引导锌离子在锌电极表面沿（002）均匀定向沉积，有利于无枝晶的生长。最后，CNC具有自组装效应，使得锌金属表面能均匀且原位形成一层保护膜，降低了离子浓度梯度和活性水电离，均匀了界面附近的电场分布，实现快速和定向的锌沉积和剥离，通过这种方法，Zn||Zn对称电池在50mA cm−2电流密度和50mAh cm−2面积容量下稳定循环970h，同时，表现出优异的倍率性能。此外，通过组装的软包全电池具有优异的循环稳定性和倍率性能，在大电流下仍具有优异的循环稳定性。这一工作不仅提供了一种多功能且简单的方法减缓了界面反应存在的枝晶生长和副反应问题，而且实现了锌的快速和高可逆沉积/剥离，为水系锌离子电池的规模化应用提供了有效方案。

关键字 水系锌离子电池、枝晶生长、副反应、纤维素纳米晶

分类：主题 H 育人育才研究生论坛

412

**纳米纤维素气凝胶用于血液灌流整体柱**

曾观1,2、常春雨1、王在贵2

1. 武汉大学化学与分子科学学院

2. 安徽农业大学生命科学学院

       在目前临床应用的胆红素吸附材料中,大多材料是由有机高分子聚合物构成，不仅生物相容性差，而且固有的选择性差，而本研究使用天然高分子材料—纳米纤维素作为原料，本身就具有血液相容性好，可再生，绿色无毒,容易进行特异化学修饰的特性；此外，这些材料通常被制成微球和凝胶用于胆红素吸附。在粘性血液的高通量处理中，微球和凝胶容易堵塞和结块，严重阻碍血液灌流应用，而本研究制备的纳米纤维素胆红素吸附柱孔径大小可控制，柱压低，以较快的对流传质替代了缓慢的扩散传质，而且具有较好机械性能，可根据实际情况原位制备，有利于血液灌流胆红素吸附的实际应用。本研究应用了多层界面组装的方法，在乳液模板上，形成水包油乳液，通过油-水界面组装，可以同时控制界面连接、纤维状纳米结构以及微观多孔结构；在冰模板上，进行固-液界面组装，发生化学交联，经过定向冷冻形成垂直排列微孔；纳米界面上，纤维素链与MTMS/APTMS溶胶发生化学交联和物理交联，既提升了机械性能，同时又引入氨基和甲基，提高对胆红素吸附性能。

关键字 纳米纤维素；胆红素；气凝胶

分类：主题 H 育人育才研究生论坛

433

**仿美人蕉再生纤维素基比色传感膜构建及性能研究**

董慧琳、许阳蕾、许凤

北京林业大学

随着工业生产和市场流通的不断升级，食品安全作为最重要的全球性问题之一，在世界范围内引起了广泛关注[1-2]。在此，我们受美人蕉微纳米分层结构的启发，开发了一种再生纤维素基超疏水疏冰的分层智能比色传感薄膜，用于食品新鲜度的实时视觉监测。它由四个部分组成：再生纤维素(RC)、纳米氧化锌(ZnO)、来自紫草素的萘醌染料(AENDs)和硬脂酸(SA)。RC为比色染料提供固定的基质，ZnO增强了基质的机械性能并为SA的固定提供了锚点，AENDs作为pH敏感的比色染料，SA的微纳米层赋予了比色膜超疏水性和疏冰性。值得一提的是，本研究首次赋予了食品新鲜度比色传感膜疏冰特性，减轻了冰层覆盖对比色的干扰，为食品新鲜度提供更合理的监测。这有利于激发比色传感膜新的设计原则，也为其在极端环境下（如冷冻环境）的应用提供了希望。

关键字 仿生材料，超疏水和疏冰，分层，比色传感膜，食品新鲜度

分类：主题 H 育人育才研究生论坛

434

**基于剪切诱导纤维素纳米晶取向制备多重防伪**

**水凝胶**

吴玉婷、常春雨

武汉大学化学与分子科学学院

通过电场、磁场、剪切诱导的方式可以实现纳米纤维素在聚合物基体中的取向。取向的实现不仅可以增强复合材料的力学性能，同时也为材料增加了多种与各向异性结构相关的特性。纤维素纳米晶体（CNCs）是一种天然的光子晶体，基于机械力诱导CNCs取向的光学响应材料已经取得一定进展，但目前研究主要通过3D打印、拉伸等方式实现，难以对CNCs的取向进行更精细的调控。因此，本工作利用微米级针头对CNCs基复合材料预聚液进行剪切，加入两亲型单体共聚温敏单体，对其相转变临界温度进行调控。改变针头移动路径，绘制具有偏振光角度依赖性的图案。并且实现低温可视，常温不可视的温度响应性防伪。此外，设计不同形状的剪切路径可以控制水凝胶的可编程形状驱动，从而实现多重防伪。

关键字 纤维素纳米晶体，剪切取向，防伪

分类：主题 H 育人育才研究生论坛

493

**XNBR/OCNC/ZnO的制备及其结构与性能的研究**

杨旭、张水洞、杨家辉

华南理工大学

纤维素具有来源广泛、可生物降解、高强度等优点。然而，纤维素用于增强橡胶时，易团聚，界面相容性差。因此，本文以微晶纤维素(MCC)为原料，采用改进型Fenton试剂(H2O2/Cu2+)对其羧基化和纳米改性得到OMCC和OCNC。将OCNC与羧基丁腈橡胶(XNBR)乳液进行溶液混合后去除水分，开炼时加入ZnO制备XNBR复合材料。OCNC与XNBR和ZnO发生原位界面反应，XNBR复合材料不仅有优异的界面相容性，其抗菌性、力学性能和热稳定性均有显著的提高。此外，OCNC与XNBR间的强相互作用及OCNC在XNBR中的均匀分散使XNBR复合材料的磨耗形式从黏附磨耗转变为磨粒磨耗，并有效抑制辐照产生的自由基，从而显著提高XNBR复合材料的磨耗性和耐辐射老化性。

关键字 羧基纳米纤维素；羧基丁腈橡胶；改进型Fonton试剂

分类：主题 H 育人育才研究生论坛

518

**分子工程化纤维素水凝胶电解质助力高稳定锌离子混合电容器**

陈奎，谢海波\*

贵州大学材料与冶金学院，贵阳 550025

hbxie@guz.edu.cm

水系锌离子混合电容器兼具超级电容器和电池的优点，且价格低廉、安全环保，被认为是最有前途的储能体系之一。不幸的是锌枝晶和寄生副反应严重阻碍了其循环稳定性和电镀/沉积效率。目前，研究者们开发了许多策略来解决的上述问题，如：正极材料的设计、锌阳极人工界面层、添加剂以及隔膜/凝胶电解质的设计和改性等。其中，凝胶电解质具有显著的安全性、柔性和不易泄露等优势。同时，纤维素是地球上储量最丰富的天然聚合物，由于其原料来源广、可再生性和易于改性等特点，是制备凝胶电解质的理想候选者[1]。因此，我们基于分子水平设计了一种富含羧基的纤维素基水凝胶电解质(COOH-f-Cell)，具有较强的机械性能、电化学性能和配位能力，以实现无锌枝晶和超长循环稳定性。

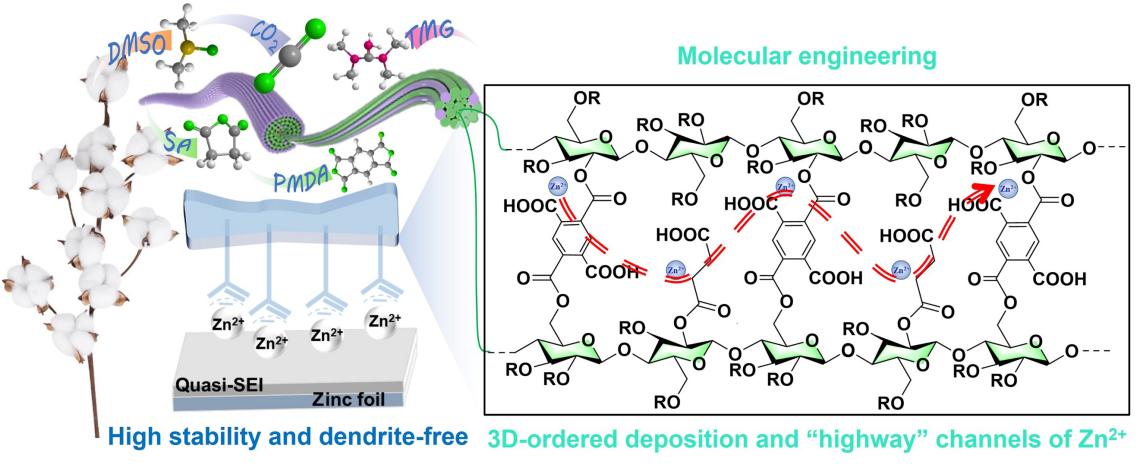


Figure 1. Highly stable zinc ion hybrid capacitor assisted by molecularly engineered cellulose hydrogel.

本工作采用可持续分子工程策略，开发的COOH-f-Cell凝胶电解质具有优异的机械性能、电化学性能和抑制锌枝晶。利用丰富的羧基，有效的调控了锌沉积行为，助力超长的循环稳定性。Zn||Zn电池在0.5 mA/cm2的电流密度下实现了5250小时的对锌循环（约7.3个月）。此外，Zn||AC全电池在7万次循环后，容量保持率为91 %，表现出优异的循环稳定性。因此，本工作采用可持续分子工程策略旨在构建安全、环保、柔性和低成本的纤维素基凝胶电解质助力高稳定的锌基储能器件。

[1] H. Zhang, X. Gan, J. Zhou. Angew. Chem. Int. Ed, 2023, 62(13): e202217833.

1. [↑](#footnote-ref-0)
2. [↑](#footnote-ref-1)
3. [↑](#footnote-ref-2)
4. [↑](#footnote-ref-3)
5. [↑](#footnote-ref-4)
6. [↑](#footnote-ref-5)