变“废”为“能”：生物质材料在固态电池关键组件中的转化路径与应用前景

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/43024.html

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

变“废”为“能”：生物质材料在固态电池关键组件中的转化路径与应用前景。固态电池被广泛视为下一代高安全、高能量密度储能技术的核心方向，但其商业化的道路并不平坦——固-固界面阻抗大、材料成本居高不下，关键矿物的开采与加工也带来了沉重的环境负担。与此同时，全球每年产生约1640亿吨生物质资源，其中农业秸秆、林业废料和海洋副产物大多未被高值化利用。能否将这一巨大的可再生碳源转化为固态电池的关键部件，既是材料科学的机遇，也是对可持续发展命题的回应。

基于此，南京林业大学陈国伟教授联合加拿大滑铁卢大学团队在中国工程院Engineering集群分刊ENGINEERING Energy上发表了题为Biomass-derived materials for next-generation solid-state batteries: From sustainable resources to advanced electrodes and electrolytes的综述文章，全面剖析了生物质衍生碳、生物聚合物及其复合材料在固态电池电极、电解质、粘结剂和隔膜中的功能化机制与结构调控规律，为固态储能技术的研发绘制了从原料到器件集成的全景式框架。

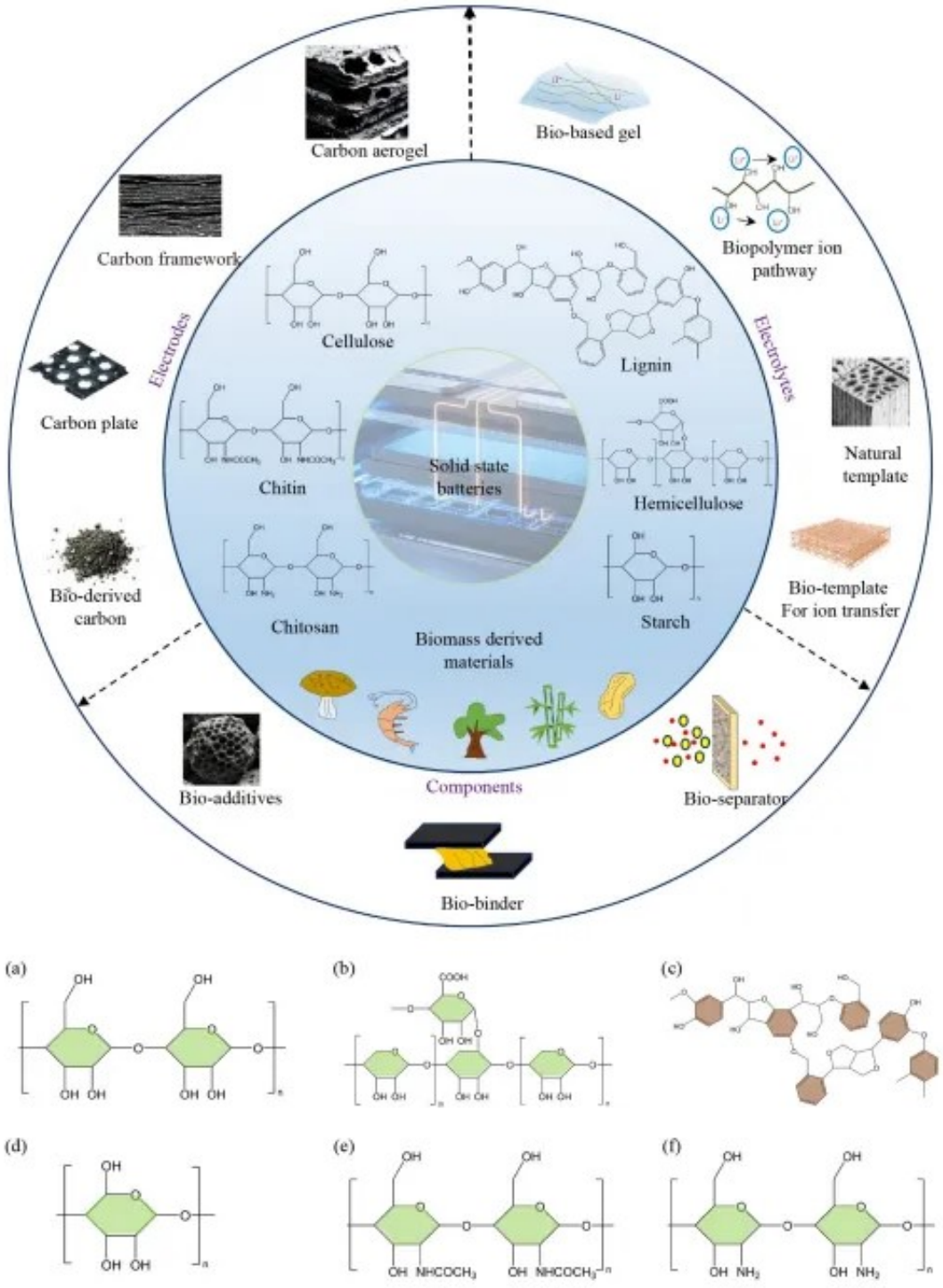


图1. 分子结构。（a）纤维素；（b）半纤维素；（c）木质素；（d）淀粉；（e）甲壳素；（f）壳聚糖。

生物质材料的先天缺陷与后天突围

尽管生物质具有天然分级孔隙和丰富表面官能团等独特优势，但其实际应用仍面临三重结构性障碍。首先，不同来源、季节和产地的生物质在纤维素、木质素含量上差异显著，导致碳化产物的

孔结构和石墨化程度波动大，难以满足电池材料的均一性要求。其次，原料中残留的碱金属或过渡金属离子即使处于痕量水平，也可能在电池工作电压下诱发副反应或自放电，而高纯度提纯往往伴随高昂能耗。最后，生物基固态电解质面临着离子电导率与机械强度之间典型的跷跷板效应。若通过增加聚合物链段运动来提升锂离子传导能力，往往会以牺牲膜的尺寸稳定性和抗枝晶穿刺能力为代价。这些相互耦合的约束使得实验室层面的优异性能在放大制备时难以复现。

如何复刻植物的天然通道？

该综述的突破性贡献在于系统归纳了三种跨越原料-性能鸿沟的设计策略：

通过热解、水热碳化和熔盐法对生物质碳进行孔隙工程与杂原子掺杂，可同时实现高比表面积（最高超过2500m2/g）和可控石墨化程度，从而在电极中兼顾离子传输通道与电子导电网络。

利用纤维素、木质素和壳聚糖中的极性官能团（-OH、-COOH、-NH2），将其作为固态聚合物电解质的主链或填料，借助反复配位-解配位机制实现锂/锌离子的跳跃式传导，室温离子电导率可达10-4S/cm量级。此外，木质素特有的酚基结构还能捕获自由基，从而显著抑制高压正极侧的电解液氧化。

将木材或细菌纤维素作为牺牲模板，复制其低曲度定向通道结构，用于构筑LLZO（Li7La3Zr2O12）或LAGP（Li1.5Al0.5Ge1.5(PO4)3）陶瓷电解质的三维连续骨架，使复合电解质的离子电导率提升至最高1.8×10-4S/cm，并有效降低晶界电阻。

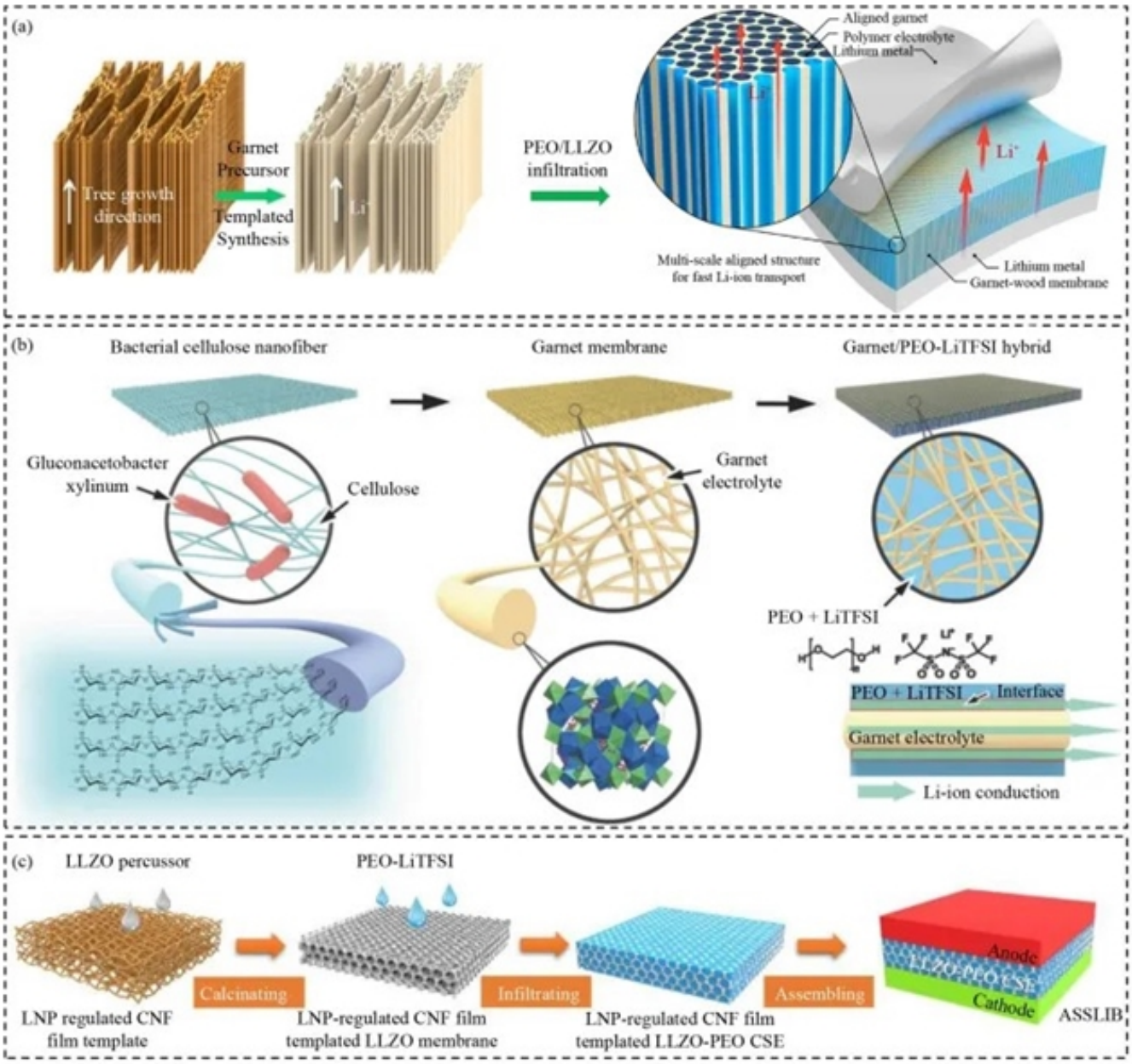


图2.生物质衍生碳气凝胶及其在电极材料中的应用

图2展示了以天然淀粉为前驱体构筑碳气凝胶电极骨架的典型路径。通过糊化、溶剂交换和热解得到三维多孔碳网络，与钛酸锂复合后，在5C倍率下循环超过1000次，放电容量保持率达106%，说明生物质衍生碳骨架在快充电极设计中具有结构适配性。

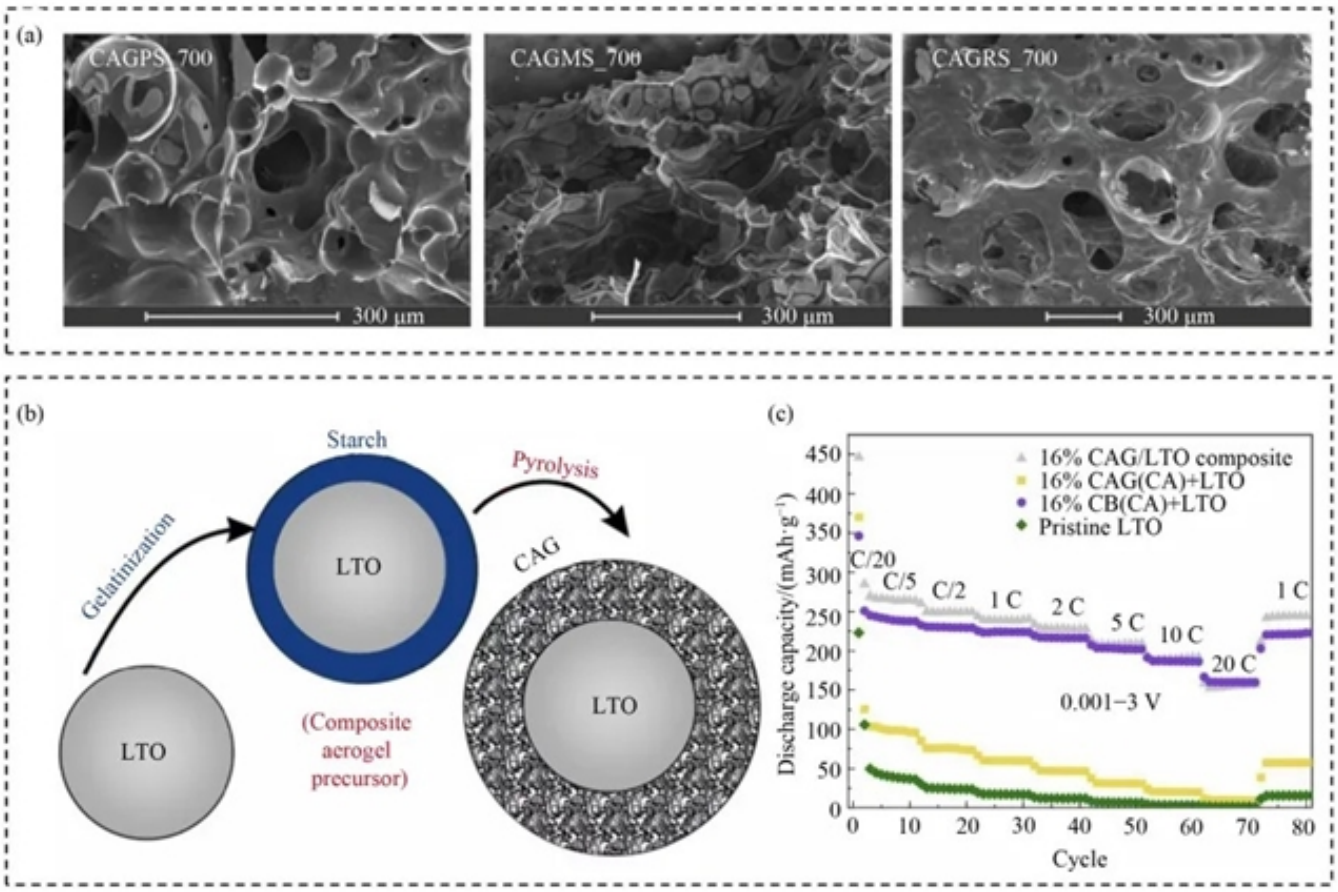


图3.以生物质衍生材料为模板制备复合固态电解质（CSEs）

图3展示了细菌纤维素模板法制备的定向LLZO陶瓷网络。该结构保留了纤维素的纳米纤维形貌，经聚环氧乙烷（PEO）渗透后形成柔性复合电解质，在室温下离子电导率稳定在1.1×10-4S/cm以上，同时抑制了锂枝晶的贯穿性生长。

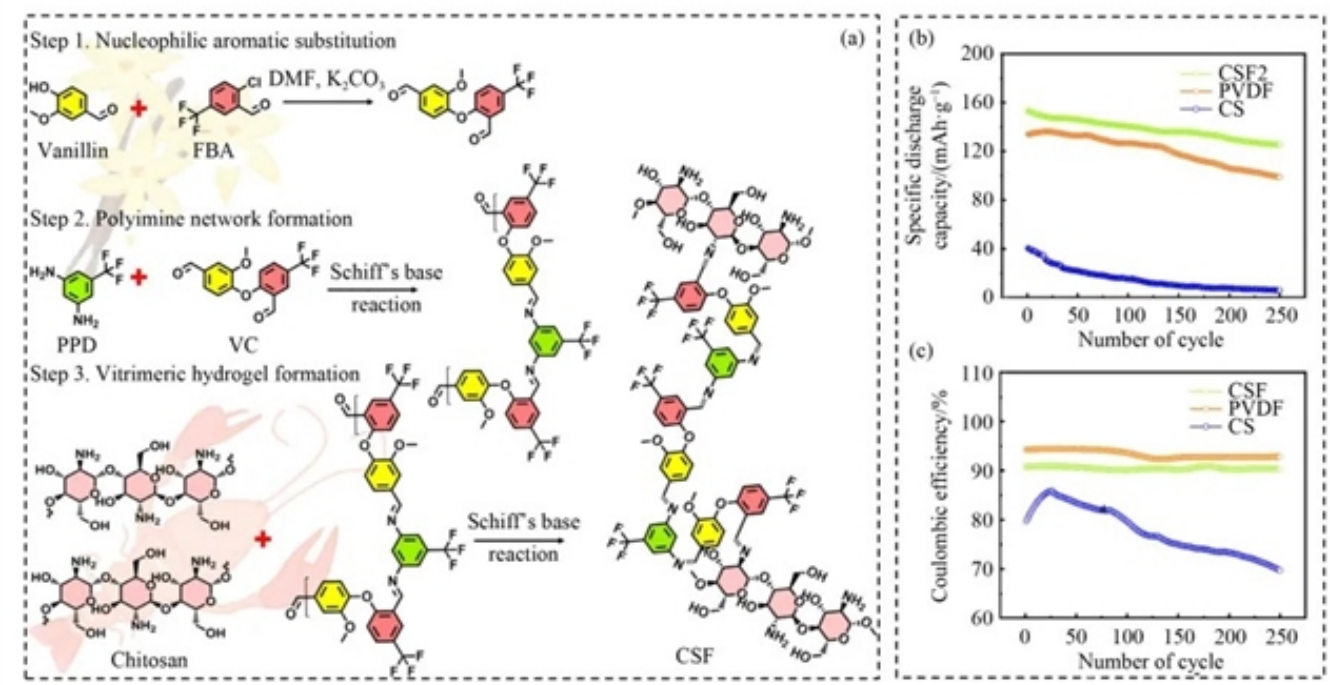


图4.壳聚糖基自修复粘结剂：合成与电化学性能。（a）壳聚糖基粘结剂的合成过程；（b）比放电容量的循环性能；（c）循环过程中相应的库仑效率。

图4展示了壳聚糖基自修复粘结剂的动态交联网络。通过席夫碱键实现机械损伤后的自主修复（修复效率>90%），其极性基团同时均化电极表面离子通量，使石墨负极在250次循环后容量保持率达81%。

废弃物变身电池黑科技还有多远？

生物质材料在固态电池中的竞争力目前仍处于实验室可比、工业未验证的阶段。其最直接的应用突破口并非全固态电池中的核心电解质层，而是硬碳负极、功能性隔膜涂层和高压正极粘结剂——这些场景对材料纯度要求相对宽容，且生物质的成本优势和可降解性可转化为明确的环境溢价。然而，要真正实现商业化替代，仍需解决两大难题：一是建立针对电池级生物质原料的质量分级标准和低成本纯化工艺，二是通过人工智能（AI）辅助的高通量筛选，加速解析孔隙结构、官能团类型与电化学稳定性之间的定量构效关系。

生物质材料并非传统石化材料的完美替代品，其在固态电池中有其明确的应用边界。文章着重分析了从原始生物质到功能化电极/电解质材料的工程化制备路径，并针对关键性能指标提供了系统的文献数据支撑。在兼顾材料可持续性与器件高性能需求的背景下，这种基于构效关系的理性评估，为后续研究厘清了从实验室制备向工程化应用转化的关键逻辑。（来源：EngineeringJournals微信公众号）

相关论文信息：https://journal.hep.com.cn/fie/EN/10.1007/s11708-026-1078-9

作者：陈国伟等 来源：《工程·能源》

更多 科学进展 请访问 https://www.iikx.com/news/progress/

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，爱科学iikx.com转发