

纳米纤维素在微胶囊中应用的进展

韩申杰¹, 傅峰¹, 吕少一¹, 黄景达¹, 王思群²

(1. 中国林科院木材工业研究所, 北京 100091; 2. 美国田纳西大学可再生碳中心, 美国田纳西 37996)

摘要: 纳米纤维素来源广泛, 具有优异的化学和电化学稳定性, 机械强度和刚度高, 大表面积以及轻质等特点, 同时还具有广泛的可利用性、可再生性和生物降解性, 已成为纳米技术研究重点之一。作者归纳纳米纤丝化纤维素、纳米晶纤维素、细菌纳米纤维素的制备方法, 及在微胶囊壁材应用方面的研究进展, 提出今后纳米纤维素在微胶囊应用领域的研究方向。

关键词: 微胶囊; 纳米纤丝化纤维素; 纳米晶纤维素

中图分类号: O636.11; TS6 文献标识码: B 文章编号: 1001-8654 (2018) 04-0022-05

Research Progress of Nano-Cellulose in Microcapsule Applications

HAN Shen-jie¹, FU Feng¹, LV Shao-yi¹, HUANG Jing-da¹, WANG Si-qun²

(1. Research Institute of Wood Industry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China;

2. Center for Renewable Carbon, University of Tennessee, Knoxville 37996, Tennessee, USA)

Abstract: Nanocellulose, the most abundantly renewable natural polymer material with excellent performance, has become one of the key points in nanotechnology research. Cellulose-based nanomaterials have excellent features such as superior chemical and electrochemical stability, excellent mechanical strength and stiffness, large surface area and light weight, as well as wide availability, renewability and biodegradability. The authors reviewed preparation of nanofibrillated cellulose, nanocrystalline cellulose and bacterial cellulose and summarized research progress in microcapsules applications. Future research and development of nanocellulose in practical microcapsules applications were also presented.

Key words: microcapsule; nanofibrillated cellulose; nanocrystalline cellulose

纳米纤维素 (nanocellulose) 是直径在 1~100 nm 之间、长度在几十至几百纳米的超微细纤维的统称, 是纤维素的最小物理结构单元。生物质材料中蕴藏

着非常丰富的纳米纤维素, 不同原料制备的纳米纤维素在形态和尺寸上存在差异。纳米纤维素按照形貌、粒径大小及原料来源, 主要分为 3 类: 纳米纤丝化纤维素 (nanofibrillated cellulose, NFC)、纳米晶纤维素 (nanocrystalline cellulose, NCC) 和细菌纳米纤维素 (bacterial cellulose, BC), 见表 1^[1]。

微胶囊是以天然、半合成或高分子材料作为囊材, 通过化学法、物理法或物理化学法, 将一种活性物质 (囊心) 包裹起来, 形成半透性或密封囊膜聚物、均聚物、共聚物、蛋白质和可固化的聚合物^[2]。壁材主要包括植物树胶、纤维素、缩家族, 其中,

收稿日期: 2017-12-12; 修改日期: 2018-05-22

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项“木质复合材料与化学资源化利用领域培强专项”(CAFYBB2017ZX003); 国家高技术研究发展计划 (“863”计划) “木竹材料阻燃与温敏可逆变色技术”(2010AA101704)。

作者简介: 韩申杰 (1988—), 男, 中国林科院木材工业研究所博士研究生。

责任作者: 王思群, 男, 美国田纳西大学可再生碳中心教授, 博士生导师。

表1 纳米纤维素的分类
Tab.1 Classification of nanocellulose

类型	文献中的同义词	纤维素来源	制备方法	特征尺寸
NFC	纤维素微纤丝, 纤维素纳米纤丝, 纤维素纳米纤维, 微纤化纤维素	木材、甜菜、马铃薯块茎、大麻、亚麻	机械法与酶/化学处理结合	直径: 5~60 nm 长度: 数微米
NCC	纤维素纳米晶, 纤维素锥晶, 纤维素晶须, 棒状纤维素微晶	木材、棉花、麻类、麦秸、桑树皮; 微晶纤维素、海藻纤维素、细菌/被囊动物纤维素	酸水解法	直径: 5~70 nm 长度: 100~250 nm (植物细胞壁); 100 nm~数微米 (被膜、海藻、细菌)
BC	细菌纤维素, 微生物纤维素, 生物纤维素	低分子量的糖和酒精	细菌合成法	直径: 20~100 nm 长度: 不同形式的纳米纤维网络, 难以统计

纤维素是用于微胶囊化最广泛的聚合物^[3], 与合成聚合物相比, 具有无毒、无污染、易于改性、储量最大、分布最广、可再生且可生物降解、生物相容性好等特点^[4-5]。

纤维素的来源、处理方法和制备工艺的差异性, 决定了纳米纤维素的尺寸、形貌和功能。与其他非纳米纤维素相比, 纳米纤维素具有高结晶度、高纯度、高杨氏模量、高强度、高亲水性、超精细结构和高透明性等优异性能, 加之具有天然纤维素的轻质、可降解、生物相容及可再生等特性, 其潜在应用非常广泛。如阻挡膜、柔性显示器、聚合物的增强填料、药物递送、纤维超级电容器、电活性聚合物等^[6]。

然而, 目前纳米纤维素在微胶囊领域的应用研究较少, 在木材加工领域的应用研究更是寥寥无几。笔者总结已有纳米纤维素应用于微胶囊的研究, 以期填补纳米纤维素改性微胶囊应用在木材行业的空白, 促进其应用。

1 纳米纤维素制备

1.1 NFC 制备

在含有 NFC 的生物原料中, NFC 被半纤维素和木质素紧密包埋, 纤维素分子内和分子间存在较强的氢键作用, 从中提取纳米尺寸且具有高稳定性的纳米纤维素, 一直是纤维素研究领域亟需突破的难题。

目前, 从植物资源中分离纳米纤维素主要包括两个阶段: 1) 原材料的纯化和均质预处理, 以便后期处理能更均匀地反应; 2) 将纯化的纤维原材料分离成微纤丝或者结晶成分^[7]。

1983 年, NFC 的概念被首次引入到纳米纤维素中^[8], NFC 是一种无规则网状物, 由一些长的线状微细纤维组成, 并且保留微细纤维的外形。有学者利用机械装置从植物细胞壁中“自上而下”地分离出 NFC^[9], 即将较大尺寸物质拆解, 刻蚀制备形貌特定、均一的纳米材料^[10]。主要方法包括: 高压乳化法、精磨/胶磨法、高速

剪切法、冷冻压碎法、蒸汽爆破法和高强度超声破碎法等^[1]; 但是制备的 NFC 存在易团聚、网状结构和尺寸不均匀等缺点。

为解决上述问题, 需对纤维素原料进行化学提纯预处理, 降低机械处理的能耗。处理方法主要包括: 酶预处理法、羧甲基化法和 2, 2, 6, 6-四甲基哌啶氧化物 (TEMPO) 氧化伯羟基法, 其中 TEMPO 氧化伯羟基法应用最多。如日本学者以次氯酸钠 (NaClO) 为起始氧化剂, TEMPO 和溴化钠 (NaBr) 为催化剂, 对纤维素 C6 上的伯羟基选择性氧化成羧基, 从而制得 NFC^[11]。

TEMPO 催化氧化法能够提高 NFC 表面的负电位, 使 NFC 之间形成一定的电斥力, 从而降低 NFC 间相互吸引。最后进行高压均质或高强度超声处理, 得到直径为 3~4 nm 的 NFC^[12]。

1.2 NCC 制备

纤维素由 D-葡萄糖以 β -1,4-糖苷键构成的线型高分子构成, 分子间和分子内存在大量氢键结合, 形成密度较大、具有一定 X 射线衍射图谱的结晶区, 还有部分纤维素大分子疏松地堆砌形成无定形区, 无定形区具有较高的化学反应可及度^[13]。1947 年, 有学者发现纤维素纤维在酸溶液中会发生降解, 一段时间后降解达到极限^[14]。近年来有研究报道酶水解法制备 NCC, 但酸水解法仍是主要方法。在酸水解过程中, 氢离子进攻无定形区纤维素分子链的糖苷键, 糖苷键断裂后纤维素分子发生降解, 保留结

晶区部分, 导致纤维素纤维变短。

常用方法是, 将纯化的纤维素原材料与一定浓度的酸^[15]反应一定时间后, 加入去离子水稀释混合物, 终止反应。对混合物进行一系列的分离(离心或者过滤)、洗涤和漂洗, 透析除去反应中多余的酸和中性盐。最后, 通过离心或者过滤分离, 去除纤维素悬浮液中较大的团聚, 使用超声处理, 促进悬浮液中 NCC 的分散。

1.3 BC 制备

纳米纤维素不仅可以通过物理或化学方法从植物、动物纤维中分离, 还可由细菌在细胞外合成。

BC 的化学性质与天然纤维素相近, 都是由葡萄糖以 β -1, 4-糖苷键连接而成。由于独特的合成方式, 每一根丝状纤维均由一定数量的纳米级微纤维组成。醋酸菌属中的木醋杆菌最早被发现, 也是目前已知合成纤维素能力最强的菌株。其纤维网络结构是以直径小于 100 nm 的带状纤丝随机组装而成的薄膜形式, 而纤丝则由一束更细的纳米纤丝(直径 2~4 nm) 构成, 相对更加整齐、连续, 尺寸均匀。

2 纳米纤维素在微胶囊中的应用展望

纳米纤维素与微胶囊的结合分为两种: 1) 纳米纤维素作为增强相, 应用在微胶囊中, 通过添加少量的纳米纤维素, 达到改善微胶囊某种性能, 如刚性、弹性模量、阻燃性能等目的; 2) 纳米纤维素直接用作微胶囊的壁材, 用于药物缓释和废水净化等领域。

2.1 纳米纤维素作为微胶囊壁材增强相

研究主要集中于相变微胶囊。浙江农林大学以石蜡为芯材, 以 NFCs 改性的三聚氰胺-尿素-甲醛树脂(MUF) 为壁材, 采用原位聚合法, 制备的相变纳米微胶囊, 其耐热性比未改性微胶囊的耐热性强^[16]。原因在于:

1) CNFs 与 MUF 树脂形成氢键, 从而提高壁材的耐热性; 2) CNFs 表面含有大量的活性伯羟基, 能与 MUF 树脂预聚体发生缩聚反应, 提高树脂的致密性; 3) CNFs 比表面积大, 杨氏模量为 150 GPa, 张应力为 10 GPa, 能与 MUF 树脂之间形成氢键, 提高树脂的韧性, 在一定程度上促进对石蜡的包覆。

随着 NCC 研究的深入, 在 MUF 预聚物中加入

0.5%的 NCC 悬浮液, 利用超声波破碎分散后作为壁材, 成功制备了 NCC 改性微胶囊^[17]。研究发现, 当 NCC 的加入量较少时, NCC 与 MUF 的结合使壁材的生成效率提高; 而当 NCC 过量时, 则形成悬浮颗粒, 影响壁材物质在芯材表面的沉积, 导致微胶囊的强度降低。纳米压痕测试结果显示, NCC 在 MUF 树脂中具有增强作用, 主要得益于 NCC 的高强度和优异力学性能。

以上研究所用的纳米纤维素均未进行改性, 而美国的普渡大学利用接枝聚(乳酸)低聚物和脂肪酸(FAs)改性的 NCCs 作为成壳材料, 通过聚脲-聚氨酯(PU)界面聚合, 制备新型缓释微胶囊, 具有高抗压强度, 并能够达到抵抗核内组分释放的屏障增强作用^[18]。NCCs 改性加强的微胶囊壳对其在压缩下的破裂行为具有显著影响, 表现出较高的断裂强度、弹性模量和较低的应变。

此外, 采用类似方法, 以月桂酸甲酯的芯材和含有改性 NCC 的聚氨基甲酸酯壁材, 通过由聚四氢呋喃(PTMG)、甘油(Gly)和油酸-聚(乳酸)接枝的 NCC 组成的 NCO-末端多元醇, 与甲苯-2, 4-二异氰酸酯(TDI) 作为油性单体和活性氢二亚乙基三胺(DETA) 作为水溶性单体的界面聚合, 成功地制备微胶囊化相变材料(c-PCM)^[19]。该微胶囊具有较高的刚性(断裂力为 0.1~0.31 N, 弹性模量为 0.3~0.63 N/mm), 并可增强抵抗核心材料渗透释放的屏障作用。

图1为疏水化 NCC-聚氨酯纳米复合相变微胶囊, 用于建筑或铺路材料的示意图。

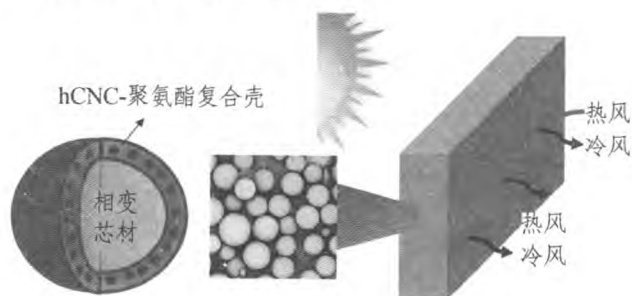


图1 疏水化 NCC-聚氨酯纳米复合相变微胶囊用于建筑或铺路材料^[19]

Fig.1 Nanocomposite phase change microcapsules made from Hydrophobized nanocrystalline cellulose (hCNCs) and Poly(urea-urethane) used for building or paving materials^[19]

除了上述将纳米纤维素直接添加到微胶囊的壁材中,纳米纤维素还能作为颗粒稳定剂,形成 Pickering 乳液体系。国内学者以微晶纤维素粉(MCC)、六亚甲基二异氰酸酯和乙二胺为原料,用盐酸水解法成功制备了 NCC,并将其作为颗粒稳定剂,形成稳定的 Pickering 乳液^[20]。通过 Pickering 乳液体系和界面聚合,成功制备分散染料微胶囊,将其用于涤纶织物的高温高压染色时,NCCs 均匀地分散于聚脲高分子的内部,形成致密的网络结构,在染色时起到良好的缓染作用。

还有研究发现^[21],除在制备期间引入的磺酸盐基团外,NCC 存在大量亲水性羟基,通过其稳定水包油 Pickering 乳液的能力,证明其两亲性质^[22]。与先前报道的通过层层自组装技术制备的具有光滑表面的聚合物微囊不同,由于 NCC 的纳米纤维性质,NCC 微胶囊表面粗糙且多孔。

为提高水果花青素(ACN)的稳定性,美国俄勒冈州立大学^[23]采用 NCC 作为宏观交联剂,研究了蓝莓花青素提取物(BB)负载的壳聚糖(CH)-NCC 微胶囊,并与 CH-钠三聚磷酸酯(TPP)微胶囊进行比较。CH-NCC 和 CH-TPP 微胶囊显示了不同的结构和形态特征,CH-NCC 中微胶囊的产量(~6.9 g)和总单体花青素回收率(~94%),均高于 CH-TPP 微胶囊(~0.3 g 和~33%)。

此外,纳米纤维素在阻燃剂微胶囊的应用中也展现出一定前景。中国科学院通过原位聚合和絮凝方法,采用 NCC 和双氰胺-甲醛微胶囊化多磷酸铵(APP),由于 NCC 和双氰胺甲醛的存在,对微胶囊化多磷酸铵(DFNAPP)的热行为和阻燃性产生显著影响,其中 NCC 可以提高燃烧期间烧焦层形成的效率^[24]。

随后,进一步使用纤维素晶须(CW)作为新型碳化剂,构建绿色高效膨胀型多磷酸铵阻燃剂(CWAPP)^[25]。研究发现,由于 CW 的存在,与硬质聚氨酯泡沫(PU)中的 APP 相比,CWAPP 显示更好的阻燃性和耐水性。加入 CWAPP 的 PU,具有比相同载荷 APP 更高的 LOI 值,PU/APP 在热水浸泡后阻燃性能显著降低。CWAPP 也对 PU 的机械性能有提升作用,阻燃剂含量相同时,PU/CWAPP 的抗压强度高于 PU/APP。

2.2 纳米纤维素作为微胶囊壁材

纳米纤维素也能直接用作微胶囊的壁材。丹麦的哥本哈根大学通过仿生果蔬中的薄壁植物细胞,利用短 NFC (<1 μm) 和 NCC 的混合物制备胶囊壁,以改进胶囊壁的机械性能^[26]。

该工艺制备的胶囊具有芳族二异氰酸酯共价交联的 NFC/NCC 结构的壁材,芳族聚脲主导的芯材。其机械性能显示,添加质量分数 17% NFC/NCC 的胶囊弹性模量为 4.8 GPa,比纯芳族聚脲胶囊(0.79 GPa)高出约 6 倍,高于来自再生纤维素的胶囊 3 个数量级(0.0074 GPa)^[27]。高纵横比(L/d~70)的定向 NFC/NCC,通过共价键(聚氨酯)和物理键(氢键),形成胶囊壁外部的致密纳米纤维结构,从而赋予其优越的机械性能。

随后,丹麦哥本哈根大学受自然界叶片结构积累的启发,在胶囊壁形成和膜基质材料中首次利用纳米纤维素,成功地合成了仿生变频的固态样膜^[28]。使用原 NFC,获得了具有超高阻隔性能的可持续和环保的功能性纳米材料^[29]。此外,该校仅仅使用植物多糖(果胶、NFC 和木葡聚糖)制备微胶囊(直径为(16±4) μm)^[30],可在水中渗透具有流体动力学直径~6.6 nm 的标记葡聚糖。当暴露于 NaCl 后,胶囊壁的孔隙度迅速变化,能够渗透较大的分子(~12 nm);而除去 NaCl 后,其孔隙度又恢复到初始状态,渗透物则被胶囊核心捕获,从而证明其是一种具有可控渗透性的强大微型容器。

美国乔治亚理工学院等也使用高纵横比的 NCC,制备的具有“干草堆”壳形态的球形笼,具有随机多孔形态,孔径小于 10 nm^[31]。与只允许有限单个大分子渗透的传统超薄壳聚合物微胶囊相比,该弹性笼状微胶囊具有显著的开放网络形态,有利于直径 3~100 nm 的大固体颗粒的跨壳转运,并且能够在不损坏壳体的情况下,通过调整 pH 值,引发固体纳米颗粒在壳体之间传输,允许大尺寸的固体纳米颗粒装载和释放。

此外,纳米纤维素还能与其他无机粒子复合,制备出新型微胶囊。有学者通过将负载磁性 CoFe₂O₄ 纳米颗粒的 NCC 自组装成壳,设计并制备出磁响应纤维素微珠和微胶囊,即各向同性和各向异性纳米材料的混合物^[32]。磁性 NCCs 形成结构层,从而得

到 NCCs 和磁性颗粒组成的高结晶网状物。与纯聚合物壳相比, 其为微珠壳提供了更优异的屏障性能, 同时磁性颗粒提供了磁响应。

混合 NCC-CoFe₂O₄ 中空微胶囊可以通过溶解聚合物芯制备。纤维素微珠能够去除水溶液中的染料, 用于废水净化, 充分证明其在分离和纯化应用中的潜力。

BC 在微胶囊的制备中也占有一席之地。芬兰的赫尔辛基大学首次使用 BC 制备胶囊壳, 用于药物的瞬间或持续释放^[33]。无论 BC 片材的干燥方法和厚度如何, 胶囊壳都会立即释放出药物。此外, 加入释放阻滞的纤维素聚合物, 使药物释放具有一级动力学。该胶囊壳在 0.1 N HCl (pH 值为 1.2) 溶液中保持浮力达 12 h。表明 BC 是明胶胶囊的有前途的替代材料, 根据包封材料的组成, 可具备瞬间和持续的药物释放性质。

3 展望

纤维素应用于微胶囊化, 具有储量最大、分布最广、可再生且可生物降解等特点。然而, 纳米纤维素在微胶囊的研究尚有些关键问题有待解决。

1) 解决微胶囊性能表征难题。目前微胶囊的表征主要集中在其形貌、粒径、红外、热分析等传统分析手段, 微胶囊壳的力学强度鲜有深入探讨。若能够解决壳的力学性能表征问题, 则能够根据具体使用情况, 设计壳强度, 实现更有效地应用。

2) 虽然纳米纤维素来源广泛, 但是提取改性成本较高, 制备周期较长。开发低成本的生产工艺, 是其工业化应用的必要条件, 也是今后研究的重要方向。

3) 全面开发纳米纤维素微胶囊的主要制备方法, 有助于开展具有生物相容性的新型纤维素基微胶囊研究, 促进其在药物、香料、营养物质、农药和相变材料等领域的应用。

参考文献:

- [1] 卢芸, 李坚, 孙庆丰, 等. 生物质纳米材料与气凝胶[M]. 北京: 科学出版社, 2015: 260-268.
- [2] Bansode S S, Banarjee S K, Gaikwad D D, et al. Microencapsulation: a review[J]. International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research, 2010, 1(2): 38-43.
- [3] 蒋义意. 微胶囊的制备技术及其在食品工业中的应用[J]. 北方药学,

- 2013(7): 64-65.
- [4] Murtaza G. Ethylcellulose microparticles: a review[J]. Acta Pol Pharm, 2012, 69(1): 11-22.
- [5] 马书荣, 米勤勇, 余坚, 等. 基于纤维素的气凝胶材料[J]. 化学进展, 2014(5): 796-809.
- [6] Moon R J, Martini A, Nairn J, et al. Cellulose nanomaterials review: structure, properties and nanocomposites[J]. Chemical Society Reviews, 2011, 40(7): 3941-3994.
- [7] 韩申杰. 竹材纤维素气凝胶的形成机理及性能研究[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2016.
- [8] Herrick F W. Micro-fibrillated cellulose: Morphology and accessibility [J]. J. Appl. Polym. Sci. Appl. Polym. Symp., 1983, 37: 797-813.
- [9] Klemm D, Kramer F, Moritz S, et al. Nanocelluloses: A new family of nature - based materials[J]. Angewandte Chemie International Edition, 2011, 50(24): 5438-5466.
- [10] 卢芸. 基于生物质微纳结构组装的气凝胶类功能材料研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2014.
- [11] Saito T, Isogai A. TEMPO-mediated oxidation of native cellulose. The effect of oxidation conditions on chemical and crystal structures of the water-insoluble fractions[J]. Biomacromolecules, 2004, 5(5): 1983-1989.
- [12] Isogai A, Saito T, Fukuzumi H. TEMPO-oxidized cellulose nanofibers[J]. Nanoscale, 2011, 3(1): 71-85.
- [13] 李媛媛, 戴红旗. 化学法制备纳米微晶纤维素的研究进展[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2012, 36(5): 161-166.
- [14] Nickerson R F, Habrie J A. Cellulose intercrystalline structure[J]. Industrial & Engineering Chemistry, 1947, 39(11): 1507-1512.
- [15] Habibi Y, Lucia L A, Rojas O J. Cellulose nanocrystals: chemistry, self-assembly, and applications[J]. Chemical Reviews, 2010, 110(6): 3479-3500.
- [16] 黄志钱, 汪欢欢, 冠彦平, 等. 纳米纤维素改性相变储能材料的制备与表征[J]. 热固性树脂, 2014(6): 012.
- [17] 胡拉. 三聚氰胺-尿素-甲醛树脂微胶囊形成机理及性能研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2016.
- [18] Yoo Y, Martinez C, Youngblood J P. Sustained dye release using polyurea-urethane/cellulose nanocrystal composite microcapsules[J]. Langmuir the ACS Journal of Surfaces & Colloids, 2017, 33(6): 1521-1532.
- [19] Yoo Y, Martinez C, Youngblood J P. Synthesis and characterization of microencapsulated phase change materials with polyurea-urethane shells containing cellulose nanocrystals[J]. ACS Applied Materials & Interfaces, 2017, 9(37): 31763.
- [20] 刘永政, 隋晓锋, 毛志平, 等. 纤维素纳米晶稳定的 Pickering 乳液制备分散染料微胶囊[J]. 印染, 2017, 43(3): 1-5.
- [21] Mohanta V, Madras G, Patil S. Layer-by-layer assembled thin films and microcapsules of nanocrystalline cellulose for hydrophobic drug delivery[J]. ACS Applied Materials & Interfaces, 2014, 6(22): 20093-20101.
- [22] Kalashnikova I, Bizot H, Cathala B, et al. New Pickering emulsions stabilized by bacterial cellulose nanocrystals[J]. Langmuir, 2011, 27(12): 7471-7479.
- [23] Wang W, Jung J, Zhao Y. Chitosan-cellulose nanocrystal microencapsulation to improve encapsulation efficiency and stability of entrapped fruit anthocyanins[J]. Carbohydrate Polymers, 2017, 157(10): 1246-1253.

(下转第 30 页)

科技创新是拉动产业发展的最优路径,是提高企业竞争力的关键,集成材企业应加大科研投入,引进人才,加强与科研单位的合作,通过“产学研”相结合、“上下游”产业协同创新等途径,拉动集成材产业发展。

3.5 加强品牌建设

随着消费需求向优质高端方向发展及实木制品板式化的趋势,集成材行业要尽快适应高端家具、装饰装修市场需求。摒弃低端同质化产品,将产品定位向中高端发展,通过采用优质的原材料、科学性或者升级加工工艺等方式,提升集成材产品价值,开拓中高端市场,满足中高端客户的消费需求。

树立品牌意识,加强品牌建设,打造专业化、规模化、自动化及标准化的品牌企业。

4 结语

近年来,各国对于优质木材的出口限制越来越严格,我国2017年全面停止天然林商业性采伐,均使得实木资源不足,利用受到限制,但也给集成材产业发展提供良好的商机和市场空间。集成材因其实木感强,通过先进加工技术实现“小料变大料”,代替大幅面实木板材,有利于充分利用优质木材资源,也有利于综合利用低质速生材,实现劣材优用,满足中高端市场的消费需求。

一方面,随着定制家具、墙板、木门窗及其他室内装饰装修领域的发展拉动,非结构用集成材应用份额将进一步扩大;结构用集成材随着木结构住宅发展良好势头及我国对于木结构建筑的倡导,未来建筑、公路桥梁等领域,对于结构用集成材的利用会越来越多。

另一方面,发展机遇与挑战并存。随着竞争的加剧,集成材企业应加强对行业现状、现存问题以及企业自身的认识,通过提升产品质量、加快装备升级、应用新技术、加大科研投入,加强品牌建设,找准市场定位等途径提升实力,应对行业转型升级过程中的各项挑战。

参考文献:

- [1] 赵俊石,许正东,王金林. 集成材及玻璃纤维增强复合材料的发展动态研究[J]. 西部林业科学, 2012, 41(2): 106-109.
- [2] 田卫国,刘瑞娜. 集成材实木门的结构与加工工艺[J]. 木材工业, 2005, 19(1): 40-42.
- [3] 徐俊华,龚迎春,任海青. 结构用集成材在木结构建筑中的应用[J]. 木材工业, 2017, 31(3): 5-9.
- [4] 黄瑞文,叶伟松,卢建新. 集成材拼接设备的现状与展望[J]. 木材加工机械, 2010(4): 36-38.
- [5] 张琦. 集成材生产企业胶合面加工工序设备及工艺对比分析[J]. 山东林业科技, 2015, 45(3): 78-81.
- [6] 周捍东. 我国木材工业粉尘污染的控制现在与进展[J]. 林产工业, 2003, 29(1): 10-12.

(责任编辑 向琴)

(上接第26页)

- [24] Luo F, Wu K, Li D, et al. A novel intumescent flame retardant with nanocellulose as charring agent and its flame retardancy in polyurethane foam[J]. Polymer Composites, 2015, 38(12): 1-9.
- [25] Luo F, Wu K, Guo H, et al. Effect of cellulose whisker and ammonium polyphosphate on thermal properties and flammability performance of rigid polyurethane foam[J]. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2015, 122(2): 717-723.
- [26] Svagan A J, Musyanovych A, Kappl M, et al. Cellulose nanofiber/nanocrystal reinforced capsules: a fast and facile approach toward assembly of liquid-core capsules with high mechanical stability[J]. Biomacromolecules, 2014, 15(5): 1852-1859.
- [27] Carrick C, Ruda M, Pettersson B, et al. Hollow cellulose capsules from CO₂ saturated cellulose solutions: their preparation and characterization[J]. Rsc Advances, 2013, 3(7): 2462-2469.
- [28] Svagan A J, Busko D, Avlasevich Y, et al. Photon energy upconverting nanopaper: a bioinspired oxygen protection strategy[J]. ACS nano, 2014, 8(8): 8198-8207.
- [29] Svagan A J, Koch C B, Hedenqvist M S, et al. Liquid-core nanocellulose-shell capsules with tunable oxygen permeability[J]. Carbohydrate Polymers, 2016, 136: 292-299.
- [30] Paulraj T, Riazanova A V, Yao K, et al. Bioinspired layer-by-layer microcapsules based on cellulose nanofibers with switchable permeability[J]. Biomacromolecules, 2017: 1401-1410.
- [31] Ye C, Malak S T, Hu K, et al. Cellulose nanocrystal microcapsules as tunable cages for nano- and microparticles[J]. ACS Nano, 2015, 9(11): 10887-10895.
- [32] Nypelö T, Rodriguez-Abreu C, Kolen'ko Y V, et al. Microbeads and hollow microcapsules obtained by self-assembly of pickering magneto-responsive cellulose nanocrystals[J]. ACS Applied Materials & Interfaces, 2014, 6(19): 16851-16858.
- [33] Ullah H, Badshah M, Mäkilä E, et al. Fabrication, characterization and evaluation of bacterial cellulose-based capsule shells for oral drug delivery[J]. Cellulose, 2017, 24(3): 1445-1454.

(责任编辑 向琴)