

一锅法制备纳米纤维素及其性能研究

冉琳琳¹, 王封丹¹, 楚陈晨¹, 徐艺倩¹, 卢麒麟^{1,2,*}

(1. 闽江学院 福建省新型功能性纺织纤维及材料重点实验室, 福建 福州 350108;

2. 福建农林大学 植物纤维功能材料国家林业和草原局重点实验室, 福建 福州 350002)

摘要: 采用一种操作简单、绿色环保的以对甲苯磺酸为催化剂对竹纤维进行水处理制备纳米纤维素(NCC)的方法。考察了反应时间、反应温度和超声作用对纳米纤维素得率和性能的影响。结果表明,在反应温度 110 °C、反应时间 45 min、超声时间 120 min 的条件下,纳米纤维素得率最高。

关键词: 纳米纤维素;制备;对甲苯磺酸;表征

中图分类号: TQ353

文献标识码: A

文章编号: 1673-0356(2021)04-0026-06

1 绪论

1.1 引言

近年来纳米纤维素(NCC)已成为研究热点,纳米纤维素^[1]的原料来源非常广泛,主要源于木材、农业生物质和动物(被囊动物、微生物^[2])。纳米纤维素是一种具有优良性能和特殊结构的新型高分子材料,在食品、医药、生物、工业等领域广泛应用^[3-4]。纳米纤维素来源于天然高分子,原料丰富、可降解、无污染,在纤维素化学领域的研究中,纳米纤维素最为引人注目,在造纸工业中也具有广阔的应用前景^[5-6],因此研究开发一种对环境友好、生产效率高的 NCC 制备方法非常重要。

1.1.1 纳米纤维素的特点

与普通纤维素相比,NCC 的比表面积大、尺寸更小、反应活性更高。NCC 的另一个特征是在制备过程中产生的低分子链段具有较强的化学反应活性,因而 NCC 在纤维素化学修饰方面具有非常多的应用。

纳米纤维素由于拉伸强度高,表现出适用于复合材料填充的优异机械性能,这也是由于纳米纤维素的

大纵横比和大比表面积的优点。此外,由于亲水性好,纳米纤维素可以在水中形成稳定的胶体,并且具有触变性、流变性和高分散性,可用作药物赋活剂和奶油食品的替代品。

1.1.2 纳米纤维素的性质

(1)机械性能。NCC 分子之间形成多重氢键从而形成高结晶区域,使得 NCC 的拉伸强度与杨氏模量都比较高。纤维素原料来源及处理方式的不同会导致纳米纤维素构建的纳米复合纤维膜拥有的拉伸强度与系数也不同。

(2)流变学性能。纳米纤维素之间具有很强的氢键,由于这个原因其会形成三维网络交联结构以维持 NCC 的稳定性,并且 NCC 的水悬浮液不会沉淀,当去除外力时,氢键就可以恢复为更稳定的三维网络结构。

(3)结晶性。NCC 的结晶性可以用结晶度来表示,该结晶度可以通过分析 X 射线衍射图来计算获得。结晶度不同的原因是纳米纤维素的制备方法与原料来源不同。

(4)表面活性。纳米纤维素可以维持纤维素原料的基本化学结构,纤维素环上的 3 个羟基具有不同的反应活性,并且基于纳米纤维素表面的丰富羟基,其化学反应容易进行重整。目前,纳米纤维素的化学重整方法主要分为两类:一类是表面活性剂吸附,磺化、氧化、酯化和醚化;另一类是接枝共聚。

1.1.3 纳米纤维素的种类

(1)纳米原纤化纤维素(nanofibrillated cellulose, NFC)。通常称之为微纤化纤维素和纤维素微纤维,是指直径范围在 5~60 nm,长度为几微米的纤维。

(2)纳米微晶纤维素(nanocrystalline cellulose,

收稿日期:2020-11-18

基金项目:2019 年福建省中青年教育科研项目(Grant No. JAT190597);植物纤维功能材料国家林业和草原局重点实验室开放基金(Grant No. 2019KFJJ01);福州市科技计划项目(Grant No. 2019-S-63);2019 年闽江学院“校长基金”项目(Grant No. 103952019145;103952019139);闽江学院 2019 年度科研项目(Grant No. MYK19009);闽江学院 2019 年创新创业教育专项课题(Grant No. YB009);闽江学院引进人才项目(Grant No. MJY18010)

作者简介:冉琳琳(1998-),女,土家族,本科,研究方向为功能性纤维材料。
*通信作者:卢麒麟(1989-),男,博士,副教授,研究方向为生物质纤维功能材料,E-mail: qilinlu@mju.edu.cn.

NCC)。通常称为纤维素纳米晶体和纤维素纳米晶须,是指直径在10~100 nm之间,长度在100~250 nm之间的纤维,形貌通常以棒状和颗粒为主。纳米微晶纤维素具有60%~90%的高结晶度,高机械性能,约150 GPa的杨氏模量和约10 GPa的拉伸强度^[7]。

(3) 细菌纳米纤维素(bacterial nanocellulose, BNC)。通常被称为细菌纤维素或微生物纤维素,它是由微生物合成的,长度为20~100 nm,形状保持性和拉伸强度极佳。

1.1.4 纳米纤维素的制备方法

(1) 物理法。物理方法通常也称为机械方法,纤维会由于机械力的作用而分离变细成为纳米尺寸的纤维素^[8]。机械处理通常包括精巧的高压均质、低温粉末研磨、超声处理等。

(2) 化学法。化学法是目前制备纳米纤维素的主要方法,该方法简单易行、产率高^[9],而目前最常用的化学方法是酸水解法,在酸水解过程中,由于非晶区域的分子排列比结晶区域的分子排列宽松,因此首先水解非晶区域,纤维解聚将最终形成高度结晶的纳米纤维素^[10]。

(3) 生物法。纳米纤维素通过微生物合成生产,在分子结构和化学组成上与天然植物纤维素相同。

1.1.5 纳米纤维素的应用

(1) 复合材料。纳米纤维素作为天然聚合物具有许多优点。纳米纤维素具有高强度,可以用作增强材料。由于纳米纤维素具有独特的纳米结构和特性,当应用于聚合物时,它可以与聚合物形成三维网络结构,以提高材料的机械强度,并改善单组分聚合物材料性能差、易脆性和变形的的问题。

(2) 吸附材料。纳米纤维素具有大的比表面积、高强度、良好的亲水性、生物降解性和表面活性。纳米纤维素不仅可以吸附金属离子和染料,而且还可以降低某些动物体内的毒素浓度,效率高,易于操作且不会对环境造成二次破坏。

(3) 食品工业。NCC具有相对特殊的分子结构,由于纳米纤维素的高结晶度和分子的紧密排列,纳米纤维素膜具有阻隔氧气的功能,并且无毒、可降解,因此非常适用于食品包装^[11]。

(4) 医用材料。纳米纤维素具有较大的比表面积、优异的机械性能、优异的生物相容性、无毒、生产成本低等优点。研究发现,人体对纳米纤维素具有高度适

应性。因此,有望广泛应用于组织工程、抗菌敷料^[12]、基因载体等领域。

(5) 造纸工业。由于纳米纤维素具有高的晶体结构,纸浆纤维与纳米纤维粘合,可以增加纸浆纤维之间的粘合力。所制得的纸张具有低孔隙率及优良的可印刷性,成本较低且纸张质量较好,可以赋予纸张特殊的性能,并且纳米纤维素可以用作增强剂、助留剂和助滤剂,具有极好的开发前景^[13]。

1.2 研究内容及意义

1.2.1 研究内容

用对甲苯磺酸催化水解纤维素原料制得NCC,分析反应时间、反应温度和超声对NCC收率和性能的影响,并用傅里叶变换红外光谱(FT-IR)、X-射线衍射(XRD)、透射电子显微镜(TEM)和热重分析(TGA)来表征光谱性质、晶体结构和热稳定性。

1.2.2 研究意义

纳米纤维素是来源丰富的天然聚合物材料,具有许多优点,如高抗张强度、高结晶度、低热膨胀系数、大比表面积、良好的生物相容性、可重复性和生物降解性等^[14]。因此,探索一种环保高效的纳米纤维素制备方法尤为重要。对甲苯磺酸是一种来源广泛的强有机酸,具有性能稳定、反应温和、副反应少、设备不易腐蚀和环境污染小等优点。用对甲苯磺酸催化水解纤维素原料制备纳米纤维素的过程温和,能耗低,且试剂可回收利用。

2 试验部分

2.1 纳米纤维素的制备

称量30 g对甲苯磺酸一水化合物于烧杯内,并加入10 ml去离子水调其浓度为70%,待其完全溶解后,加入1 g纤维素原料,用磁力搅拌器以250 r/min搅拌45 min,取出倒入水热釜内,将水热釜置入电热恒温鼓风干燥箱中(反应温度为110 ℃,反应时间为120 min),取出后倒入烧杯加入去离子水至400 ml,再在9 000 r/min下离心8 min,弃去上层清液再加入去离子水。反复离心直至溶液pH值为中性,将脱酸完成的溶液置入数控超声波清洗器(反应时间为120 min,功率为800 W)。超声结束后将再次离心(6 000 r/min,5 min),弃去上层清液再加入去离子水。反复离心直至上层溶液浑浊,此时将制得的NCC悬浮液收集备用。

2.2 纳米纤维素得率的计算

测量离心得到的NCC悬浮液总体积 V ,再取50

ml 悬浮液于培养皿中,放进 100 °C 烘箱烘干至恒重,称量。由式(1)计算得率^[15]:

$$\text{得率}(\%) = \frac{(m_1 - m_2)V}{50m} \times 100 \quad (1)$$

式中 m_1 为干燥后的纳米纤维素和培养皿的质量(g); m_2 为培养皿的质量(g); V 为 NCC 悬浮液的总体积(ml); m 为纤维素原料的质量(g)。

2.3 分析表征

2.3.1 形貌分析(TEM)

采用 JEOL JEM-1010 透射电子显微镜(TEM)观察 NCC 的形貌。浓度为 0.02% 的 NCC 悬浮液经超声分散后取 1 滴于载碳铜网上,自然干燥后用滤纸吸除周围余液,再用 2% 浓度的磷钨酸溶液负染并干燥,于 100 kV 加速电压进行测试。

2.3.2 X-射线衍射(XRD)

将得到的 NCC 悬浮液进行冷冻干燥,得到干燥粉末状的 NCC,将其在室温下,衍射角 2θ 的范围在 $6^\circ \sim 90^\circ$ 内,扫描速率 $0.02^\circ/\text{min}$,衍射设置参数(Cu 靶、40 kV、30 mA),进行 XRD 衍射分析。

结晶度指数 CrI 可通过式(2)计算。

$$CrI = (I_{200} - I_{am}) / I_{200} \quad (2)$$

式中 CrI 为相对结晶度指数; I_{200} 是 (002) 晶面衍射强度; I_{am} 为无定形区的衍射强度^[16]。

2.3.3 红外光谱(FT-IR)

采用傅里叶变换红外光谱仪对纤维原料和 NCC 样品的表面化学结构进行分析。将干燥的纤维素样品研制成粉末状,取 1 mg 的 NCC 样品和 100 mg KBr 混合压片进行检测,扫描范围 $4000 \sim 400 \text{ cm}^{-1}$ 。

2.3.4 热重分析(TGA)

将 NCC 研磨成粉末状,在氮气保护条件下,使用热重分析仪以 $10^\circ\text{C}/\text{min}$ 的升温速率对样品进行检测,检测的温度范围在 $30 \sim 700^\circ\text{C}$ 之间。

3 结果与讨论

3.1 单因素分析

3.1.1 反应时间对 NCC 得率及性能的影响

反应温度为 110°C 、超声时间为 120 min 时,考察反应时间对纳米纤维素收率的影响。如图 1 所示,随着反应时间的增加,在 15~45 min 内纳米纤维素收率逐渐增加,在 45 min 时,产物收率达到最大值(52.33%)。当反应超过 45 min 时,纳米纤维素收率开始下降,在 75 min 时达到最小值(23.11%)。这是

由于纤维素在对甲苯磺酸的催化作用下,内部致密结构变得相对疏松,糖苷键断裂,聚合度降低,无定形区被破坏,最终形成纤维素纳米晶体。纳米纤维素的产率增加,反应时间过长,发生过量的纤维素分解,部分结晶区被破坏,纳米纤维素产物的产率降低。因此,反应时间 45 min 更为合适。

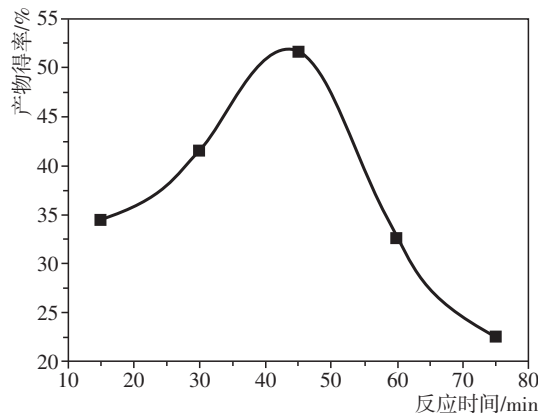


图 1 反应时间对 NCC 得率的影响

3.1.2 反应温度对 NCC 得率及性能的影响

反应时间 45 min、超声时间 120 min 的条件下,考察反应温度对 NCC 产率的影响。从图 2 可以看出,当反应温度为 $90 \sim 110^\circ\text{C}$ 时,产物产率随反应温度的升高而增加,当温度达到 110°C 时,纳米纤维素产物产率达到最大值(52.33%),继续增加温度,NCC 的产率下降。出现该现象的原因是,随着温度在一定范围内升高,纤维素分子的糖苷键的分解速度加快,导致纤维素的聚合度降低,粒径减小,纳米纤维素产物的产率增加。但是随着温度的持续升高,部分纤维素被完全水解为葡萄糖,部分被水解并氧化形成有机酸、酮、乙醛等,最终导致产率降低。因此,反应温度更适合在 110°C 。

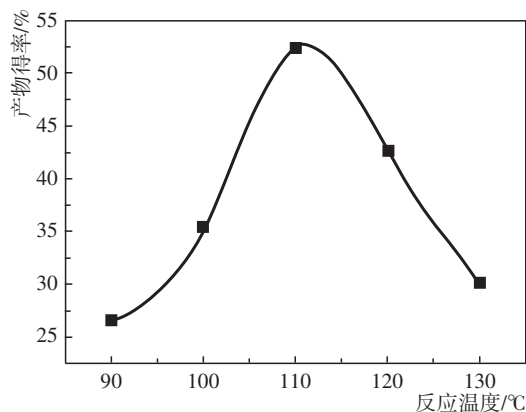


图 2 反应温度对 NCC 得率的影响

3.1.3 超声作用对 NCC 得率及性能的影响

反应温度为 110 °C、反应时间为 45 min 的条件下,研究超声时间对纳米纤维素产品收率的影响。如图 3 所示,在 60~120 min 的超声时间内,纳米纤维素产物的收率增加并在 120 min 时达到最大值(52.33%),但是随着超声时间的增加,产物的收率在 180 min 时达到最小值(32.56%)。这是由于天然纤维素具有复杂的形态和内聚结构,具有更大的分子内氢键,封闭了纤维素分子中的反应性羟基,从而降低了纤维素与试剂和溶剂的可及性。在超声过程中,超声波会在液体中产生强烈的空化作用,改变纤维素的形状和结构,降低分子间氢键力,暴露出更多表面,改善纤维素的可达性。在短时间内,超声功率不足以影响晶体区域中的完整晶体结构,而具有非晶区域和缺陷的晶体结构连续地被水解,从而导致纳米纤维素的产率更高。如果连续增加超声时间,则在纤维素分子的氢键最小化之后,可达性不再增加,并且完整的晶体结构逐渐水解为水溶性碳水化合物,从而降低了产率。因此,超声波时间最适合 120 min^[17]。

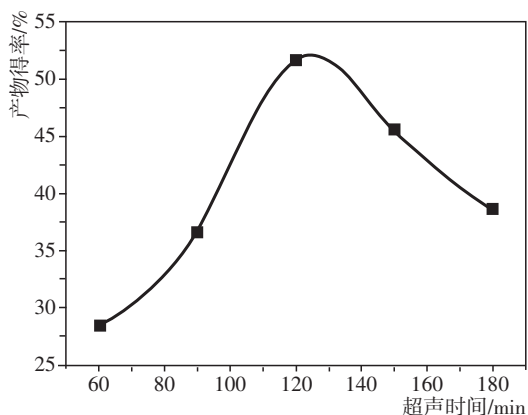


图3 超声时间对 NCC 得率的影响

3.2 形貌分析(TEM)

图 4 是 NCC 的透射电镜图。由图 4 可知,NCC 在水中分散均匀,呈短棒状,直径在 8~15 nm 范围,长度在 100~200 nm 之间。在 NCC 的制备过程中,由于非晶区首先遭到破坏,结晶区得到了较多的保留。部分纳米纤维素呈束状聚集,这主要是由于纳米粒子间存在较强的氢键作用力,使其侧向附着较强,发生侧向聚集,此特性使其在复合材料中能够提供较好的增强作用。NCC 比表面积较大,暴露出来的羟基更多,所以更容易形成氢键,因此会发生部分团聚,呈现出一种网状结构。

3.3 X-射线衍射(XRD)

纤维原料和纳米纤维素的 XRD 图谱如图 5 所示。纤维原料的位置和纳米纤维素衍射峰基本一致,在 15.2°和 16.2°处有一个强峰对应于纤维素晶体的(101)晶面,在 22.6°处有一个强峰对应于纤维素晶体(002)晶面,因为它们都是扁平的,所以都被认为是 I 型纤维^[18]。纤维原料的结晶度为 66.25%,纳米纤维素为 72.50%。纳米纤维素的结晶度将得到显著改善,因为在制备过程中首先破坏了非晶区,氢键断裂,并且充分地保持了结晶区,从而提高了结晶度^[19]。

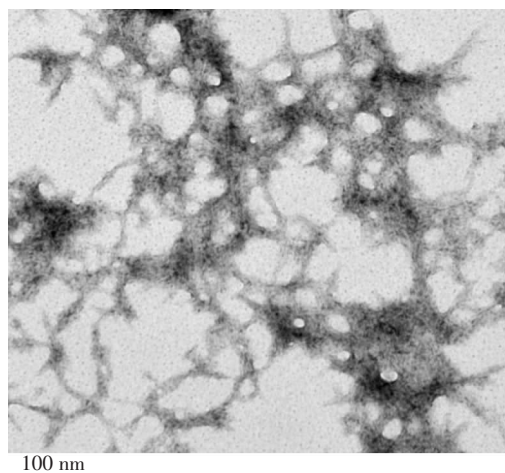


图4 纳米纤维素的透射电镜图(TEM)

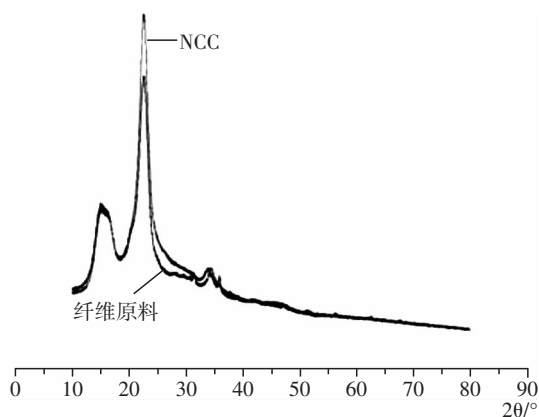


图5 纤维原料和 NCC 的 X 射线衍射图谱

3.4 傅立叶变换红外光谱(FT-IR)

图 6 显示了纤维原料和纳米纤维素的 FT-IR 光谱。纤维原料的吸收峰在 3 349.84 cm^{-1} 附近,纳米纤维素的吸收峰在 3 423.20 cm^{-1} 附近。两个基团均具有羟基,纳米纤维素的峰强度高于原料的峰强度,表明存在偏移。这是因为纤维素变成纳米级,尺寸变小,表面积增加,并且更多的羟基暴露在表面上,引起比位移。C-H 的拉伸振动峰和弯曲振动峰在 2 895.37

cm^{-1} 和 $1\,433.22\text{ cm}^{-1}$ 处发现。 $1\,642.95\text{ cm}^{-1}$ 对应于 $\text{C}=\text{O}$ 吸收峰。醇的 $\text{C}-\text{O}$ 拉伸振动为 $1\,066.46\text{ cm}^{-1}$ 。 $1\,166.14\text{ cm}^{-1}$ 和 $1\,113.48\text{ cm}^{-1}$ 分别对应于醚的 $\text{C}-\text{O}$ 拉伸振动和 $\text{C}-\text{C}$ 骨架的拉伸振动。光谱中生产的纳米纤维素样品和纤维原料的特征峰基本保持不变,表明纳米纤维素仍然具有纤维素的基本化学结构,并且在纳米纤维素光谱中没有对甲苯磺酰基的特征峰(被 TsOH 取代),表明对甲苯磺酸具有保护纤维素羟基的作用^[20]。

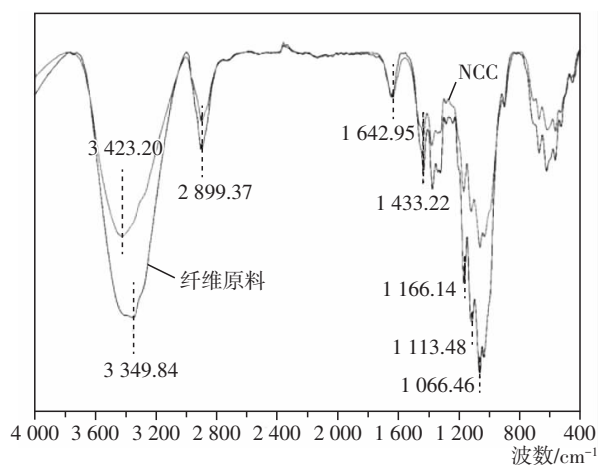


图6 纤维原料和 NCC 的红外图谱

3.5 热重分析(TGA)

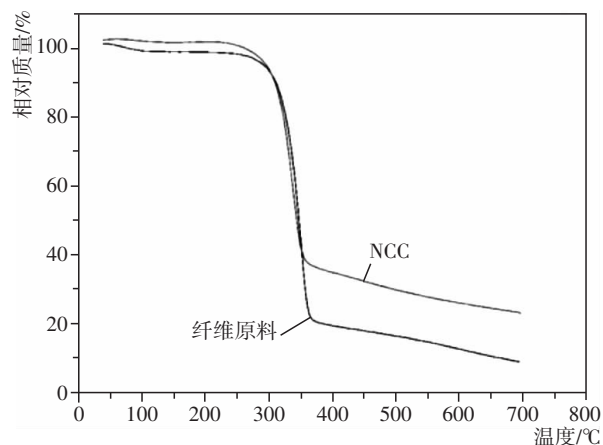


图7 纤维原料和 NCC 的热重分析

图7显示了纤维原料和NCC的热重分析曲线,纤维原料和纳米纤维素的相对质量显示出稳定且缓慢的趋势,温度上升到 $300\text{ }^{\circ}\text{C}$,显示了 $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时的纳米纤维素。该阶段的质量损失主要是水蒸发, $300\sim 365\text{ }^{\circ}\text{C}$ 是最大的热损失范围。如果温度高于 $300\text{ }^{\circ}\text{C}$,则其逐渐开始分解。纤维原料和纳米纤维素的热损失非常大。纤维原料开始分解的温度为 $322.3\text{ }^{\circ}\text{C}$,最高分解温度达到 $355.3\text{ }^{\circ}\text{C}$,纳米纤维素开始分解的温度为 317.5

$^{\circ}\text{C}$,最高分解温度达到 $335.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。纳米纤维素的平均聚合度和尺寸比纤维素原料的平均聚合度和尺寸低,是因为它比纤维素小并且具有较大的比表面积。纤维素分子还增加了破坏时暴露基团的数量,并降低了初始分解温度。根据XRD分析,纳米纤维素的结晶度大于纤维素原料的结晶度,并且在加热过程中,非晶区的分解率大于结晶区的分解率,因此粗纤维素的分解率略高。另外,在制备过程中,大量的磺酸进入纤维素分子的无定形区域,而一些进入结晶区域^[21]。在加热过程中,磺酸用作阻燃剂。因此,纳米纤维素的最终残留量高于纤维原料的残留量。

4 结论与展望

4.1 结论

用对甲苯磺酸生产纳米纤维素的过程是绿色的,环境负荷较小,对甲苯磺酸可以通过重结晶回收利用。与无机酸水解相比,纳米纤维素的产率大大提高,缩短了反应时间,减少了设备腐蚀和环境污染。最合适的工艺条件是反应时间 45 min ,反应温度 $80\text{ }^{\circ}\text{C}$,超声时间 120 min 。TEM显示,纳米纤维素直径 $8\sim 15\text{ nm}$,长度 $100\sim 200\text{ nm}$ 。XRD显示纳米纤维素属于纤维I型。

4.2 展望

纳米纤维素具有许多优良性能,如较大的比表面积、高结晶度、高亲水性、高模量、高强度、超精细结构和高透明性等,将纳米纤维素添加到复合材料中可显著提高其性能^[22-24],使其在食品、医药、造纸、纺织及新材料制备等领域具有很好的应用前景。纳米纤维素制备方法很多,但每种制备方法各有利弊,有的不环保,有的消耗大量资源,有的生产效率低,对设备的要求也相对高。因此,开发新型、环保、节能高效的制备方法已成为未来研究的重点。

参考文献:

- [1] 阴艳华. 稻草纤维素降解及微晶纤维素的制备研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2011.
- [2] 周昌兵, 徐阳, 刘馨月, 等. 剑麻纤维素纳米纤维的制备及表征[J]. 高分子材料科学与工程, 2017, 33(10): 130-134.
- [3] 潘佳. 纳米纤维素纤维/环氧树脂复合材料的研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2012.
- [4] 范子千, 袁晔, 沈青. 纳米纤维素研究及应用进展[J]. 高分子通报, 2010, (3): 40-60.

- [5] 李金玲.硫酸铜助催化剂制备纳米纤维素晶须及其增强水性聚氨酯[D].广州:华南理工大学,2010.
- [6] 吴开丽.纳米纤维素晶体的制备及其在制浆造纸中的应用[D].济南:山东轻工业学院,2010.
- [7] 李鑫,邓立高,俸斌,等.纳米纤维素的制备工艺及其研究进展[J].纸和造纸,2018,37(4):11-16.
- [8] 张思航,付润芳,董立琴,等.纳米纤维素的制备及其复合材料的应用研究进展[J].中国造纸,2017,36(1):67-74.
- [9] 代莹莹,陈贵翠,李闪闪.生物质纤维素纳米晶须的制备及应用[J].轻纺工业与技术,2016,(6):20-22.
- [10] 罗嘉倩,李群,张伟,等.纳米纤维素的制备技术进展[J].天津造纸,2017,39(3):9-15.
- [11] 张秀伶,王稳航.纳米纤维素研究及在食品工业中的应用前景[J].食品工业科技,2016,37(21):377-382.
- [12] 王剑平.医用纤维素敷料的改性与性能研究[D].青岛:青岛大学,2015.
- [13] 查瑞涛,张春亮.纳米技术在造纸工业中的应用[J].中华纸业,2016,(21):45-52.
- [14] 祝晓,魏晓奕,李积华,等.纳米纤维素的应用研究进展[J].化工新型材料,2015,43(2):212-214,217.
- [15] 耿青杰,李兵云,王冉冉,等.草酸水解法制备纳米纤维素[J].造纸科学与技术,2018,37(4):36-39.
- [16] 何文,张齐生,蒋身学,等.慈竹纳米纤维素的制备及特征分析[J].林业科技开发,2013,27(4):23-27.
- [17] 卢麒麟,唐丽荣,游惠娟,等.氯化铁体系绿色高效催化制备纳米纤维素[J].科技导报,2014,32(4):56-60.
- [18] 刘潇,董海洲,侯汉学.花生壳纳米纤维素的制备与表征[J].现代食品科技,2015,31(3):172-176.
- [19] 卢麒麟.巨菌草制备纳米纤维素的研究[D].福州:福建农林大学,2013.
- [20] 孙梦云.废报纸制备纳米纤维素造纸增强剂[D].合肥:安徽农业大学,2016.
- [21] 陈方.毛竹浆酶预处理制备纳米微晶纤维素及其应用[D].杭州:浙江理工大学,2015.
- [22] 蒋玲玲,陈小泉.纤维素酶解天然棉纤维制备纳米纤维素晶体及其表征[J].化学工程与装备,2008,(10):1-4,9.
- [23] 黎国康,丁恩勇,李小芳,等.纳米晶体纤维素II的制备与表征研究[J].纤维素科学与技术,2002,10(2):12-19.
- [24] 李小芳,丁恩勇,黎国康.一种棒状纳米微晶纤维素的物性研究[J].纤维素科学与技术,2001,9(2):29-36.

Preparation and Properties of Nanocellulose by One-pot Method

RAN Lin-lin¹, WANG Feng-dan¹, CHU Chen-chen¹, XU Yi-qian¹, LU Qi-lin^{1,2,*}

(1. Fujian Key Laboratory of Novel Functional Textile Fibers and Materials, Minjiang University, Fuzhou 350108, China;

2. National Forestry and Grassland Administration Key Laboratory of Plant Fiber Functional Materials, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

Abstract: A kind of simple and environmentally friendly method for preparing nanocellulose (NCC) by hydrothermal treatment with p-toluenesulfonic acid as catalyst was introduced. The effects of reaction time, temperature and ultrasound on the yield and properties of nanocellulose were investigated. The results showed that the highest yield of nanocellulose was obtained at reaction temperature of 110 °C, reaction time of 45 min, and ultrasonic time of 120 min.

Key words: nanocellulose; preparation; p-toluenesulfonic acid; characterization

关于《纺织科技进展》杂志 加入中国知网“优先出版”平台的启事

本刊已于2016年12月正式加入中国知网的“期刊优先数字出版”平台,可在纸质期刊出版之前,于中国知网的优先数字出版平台中出版,发布已录用、编辑、排版规范定稿的文献。欢迎广大读者、作者来函、来电咨询。