

酶预处理协同高压射流对微纤化纤维素特性的影响

王 骁, 吴 雪*, 赵 纯

(北京工商大学人工智能学院, 北京 100048)

摘要:纤维素酶预处理方法因其环境友好等特点在微纤化纤维素制备中受到关注。本研究采用不同浓度纤维素酶协同高压射流处理,开展微纤化纤维素的制备研究。实验结果表明,经过酶解协同高压射流处理后,纤维素原纤束直径由几至几十微米下降到几十至几百纳米之间,而纤维素的晶体结构基本未变。粒径分析说明,酶浓度 1%(w/w)的纤维素酶协同高压射流处理的纤维素微细化效果较好。酶浓度从 0.1%增加至 0.5%时,高压射流处理后的纤维素水分散液的黏度增加,热稳定性和纤维素薄膜的拉伸性能增强,0.5%酶协同高压射流处理的微纤化纤维素薄膜平均抗拉强度达到为 18.74MPa,1%酶协同高压射流处理的薄膜样品拉伸特性无明显变化,其平均抗拉强度为 18.99MPa,平均断裂伸长率为 8.74%,平均弹性模量为 293.8MPa。

关键词:微纤化纤维素;酶预处理;高压射流;微细化

天然纤维素是自然界最丰富的可再生资源之一,具有无毒、无污染、成本低、可生物降解和易于改性等优点^[1~3]。纳米纤维素不但保留了天然纤维素的性质,同时赋予纳米粒子高强度、高结晶性、高比表面积、高抗张强度等特性^[4~8],在食品与保健品中,纳米纤维素因其优良的乳化稳定性可以作为添加剂使用,也可以作为绿色包覆材料或用于固定生物活性酶^[9]。纳米纤维素材料包括纤维素纳米晶体、微纤化纤维素、细菌纤维素和静电纺丝纤维素纤维^[10]。在材料学上,微纤化纤维素被定义为直径在 10~100nm 之间,长度为微米级^[11]的纤维素微纤。

微纤化纤维素通常通过物理化学或生物等作用将纤维素原料解离制得。Lee 等^[12]以微晶纤维素为原料,采用高压均质方法制备微纤化纤维素,发现经过 5~10 次处理可以得到拉伸强度较高的纤维素薄膜。Zhang 等^[13]采用 NaOH 预处理协同高压均质的方法对漂白牛皮竹浆进行处理,得到直径为 20~30nm 的纤维素微纤。冯瞿等^[14]采用稀盐酸结合高压射流方法制备得到直径为几十至几百纳米的微纤化纤维素。Qing 等^[15]用纤维素酶预处理与研磨机相结合的方法制备微纤化纤维素,发现酶预处理会使原纤维具有较高的结晶度和长径比。Zhou 等^[16]比较了三种木聚糖酶(X10A、X10B 和 X11)和一种内切葡聚糖酶预处理制备纤维素纳米纤维的方法,发现木聚糖酶处理可以促进原纤化的初始阶段以产生微米级原纤维,但不适于生产纳米级原纤维,而内切葡聚糖酶可以更有效地促进纤丝解离获得纳米级纤维。通过对比上述微纤化纤维素制备方法发现,纤维素酶预处理所得纤维素纳米原纤显得坚硬,呈棒状,纤维长度为数百纳米,长径比较高。根据文献资料^[17~20],发现其原因为纤维素酶能选择性地水解纤维素的无定形区,破坏纤维素间的氢键连接,有效降解植物纤维中的木质素,较高程度地保留结晶区。与酸或碱预处理方法相比,纤维素酶处理不仅绿色且环境友好,能用于制备食品、保健品或药品相关的微纤化纤维素材料,赋予产品不同的乳化、稳定、包覆或固定特性,因此其工程应用潜力是巨大的。本文尝试结合纤维素酶预处理和高压射流方法制备微纤化纤维素,并研究其表征结构、粒径分布、静态流变特性和纤维薄膜拉伸力学特性的变化。

10.14028/j.cnki.1003-3726.2022.09.007

收稿:2021-06-09;修回:2022-01-17;

基金项目:国家重点研发计划资助(2016YFD0400305);

作者简介:王骁(1997-),男,硕士研究生,机械工程专业。E-mail:1822143780@qq.com;

* 通讯联系人:吴雪(1974-),女,主要从事食品加工技术与装备研究。E-mail:wuxue@th.btbu.edu.cn.

1 材料与方法

1.1 材料

纤维素(标称 90 μm):化学级,Aladdin 公司;纤维素复合酶 Celluclast 1.5L:食品级,Novozymes 公司;柠檬酸($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7\cdot\text{H}_2\text{O}$):分析纯,迈瑞达科技有限公司;NaOH:化学级,Aladdin 公司;浓盐酸:分析纯,国药集团化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

高压射流均质机,NCJJ-0.007/200 机型,电机功率 750W,操作压力 0~200MPa,廊坊通用机械制造有限公司;磁力搅拌器,601 型,主轴转速 0~1500r/min 可调,上海三信仪表厂;实验室 pH 计,PHS-2C 型,分辨率 0.1/0.01PH,上海三信仪表厂;冷冻干燥机,FD-1A-50 型,冷阱温度-55 $^{\circ}\text{C}$,北京博医康实验仪器有限公司;溶剂过滤器,T50 型,天津市津腾实验设备有限公司;飞纳台式扫描电镜,Phenom XL 型,荷兰 Phenom-world 公司生产;激光粒度分析仪,MS200 型,全量程采用激光衍射法与完全迷失光散射理论,湿法测量范围为 0.02~2000 μm ,重复性 $\pm 0.5\%$,准确性 $\pm 1\%$;旋转流变仪,型号 Discovery HR,TA Instruments 公司;热重分析仪,型号 TGA 55,TA Instruments 公司;质构分析仪,型号 TMS-PRO,美国 FTC 公司生产。

1.3 试验方法

1.3.1 缓冲液的配置 根据缓冲液配比表,称取 14.25g 柠檬酸、9.3g 氢氧化钠和 5.25mL 浓盐酸,配制成 500mL 的柠檬酸-氢氧化钠-盐酸缓冲液。测量缓冲液的 pH 值,并加入少量氢氧化钠调节,将柠檬酸-氢氧化钠-盐酸缓冲液的 pH 值调至 5.5,放入冷藏室备用。

1.3.2 纤维素酶解预处理 将 6g 纤维素分别与 0.006、0.02、0.03 和 0.06g 纤维素酶混匀,分别倒入 50mL 缓冲液中,形成纤维素酶预处理样品液 I、II、III、IV。该样品液 I-IV 中,纤维素酶与底物(纤维素)的质量比分别为 0.1%、0.33%、0.5%、1%,即称之为 0.1%、0.33%、0.5%、1%纤维素酶(预)处理。将样品液 I-IV 置于 50 $^{\circ}\text{C}$ 水浴中,磁力搅拌器 1h,随后 100 $^{\circ}\text{C}$ 烘箱处理 5min 使酶失活。继续以 4000r/min 离心分离 I-IV 号样品液 5min,倒掉上清液,滤渣复水洗涤后再次离心分离,如此反复洗涤 3 次至滤渣接近中性,复水使纤维素水分散液浓度为 1.5%(w/w),得到 0.1%、0.33%、0.5%、1%纤维素酶解样品 I、II、III、IV。

1.3.3 高压射流处理 将 1.3.2 节获得的酶解样品 I-IV 进行 40MPa 高压射流处理 4 次后,再经 110MPa 高压射流处理 2 次,得到 0.1%、0.33%、0.5%、1%酶解协同高压射流处理纤维素水分散液样品 I、II、III、IV。继续将部分样品进行冷冻干燥 48h,获得 0.1%、0.33%、0.5%、1%酶解协同高压射流处理纤维素冻干粉样 I、II、III、IV。

1.3.4 微观结构观察 将纤维素原样和 1.3.3 节的 0.1%、0.33%、0.5%、1%酶解协同高压射流处理纤维素水分散液样品 I、II、III、IV 的纤维素浓度各稀释到 0.06%(w/w),均匀搅拌后,分别从分散液上部、中部、下部各取 1 滴至样品台导电胶上,即每个纤维素水分散液样品制得 3 个电镜观察测试样品,60 $^{\circ}\text{C}$ 烘箱处理 4h,随后喷金 90s,在 10kV 电压下进行扫描电镜观察,每个电镜观察测试样品各取 2 个区域进行进一步局部观察。

1.3.5 聚集态结构表征 将未处理纤维素粉和 1.3.3 节的纤维素冻干粉样 I-IV 进行 X 衍射分析,采用铜靶,入射线波长 0.15418nm, Ni 滤波片,扫描射线范围 $2\theta = 10^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 。扫描速度为 4($^{\circ}$)/min。结晶度 C_1 的计算依据公式 $C_1(\%) = \left(1 - \frac{I_{am}}{I_{200}}\right) \times 100$ 进行^[21]。其中, $2\theta = 22.6^{\circ}$ 时的 200 峰值高度为 I_{200} ,代表结晶和无定形区域总和; 2θ 在 18.5 $^{\circ} \sim 22.3^{\circ}$ 时的最小峰值为 I_{am} ,代表无定形区域。

1.3.6 粒径分布 应用激光粒度仪分析 1.3.3 节制备的纤维素水分散液样品 I~IV 的粒径分布,设置分散介质水的折射率为 1.33,纤维素折射率为 1.48,样品加样时遮光率保持在 6%~7%,测量结果取 3

次测量结果的平均值。D50 为中位值,即粒径分布曲线中体积分数积分达到 50%时所对应的粒径数值。

1.3.7 静态流变特性 用旋转流变仪检测 1.3.3 节的纤维素水分散液样品 I~IV 的静态流变特性,锥形板直径 5cm,设置剪切速率 $0\sim 300\text{s}^{-1}$,测量间隙 1mm,25℃条件下进行测量。

1.3.8 热重分析 将 1.3.3 节的纤维素冻干粉样 I~IV 进行热重分析,设置最高温度为 500℃,升温速度 $20^\circ\text{C}/\text{min}$ 。

1.3.9 纤维素薄膜拉伸特性 取 1.3.3 节的纤维素水分散液样品 I~IV 30mL 置于试管中,滴入 4 滴甘油,用真空抽滤机抽滤成膜。将所有制备的膜置于 60℃的恒温箱中烘干 60h。

应用 10mm 宽标准切刀将样品膜切成样条,用千分尺测量厚度 b 并记录,用 FTC-质构仪进行拉伸实验,每个不同酶处理浓度得到的膜样品分别测量 5 次。设置拉伸条件为:拉伸速度 0.5mm/s ,拉伸标距 10mm。

拉伸强度 σ 定义如下:

$$\sigma = \frac{F_{\max}}{A} \quad (1)$$

式中: σ 为拉伸强度(MPa), $F_{\max}$ 为最大拉力(N), A 为膜样品的初始断面面积 $A=10b(\text{mm}^2)$, b —膜样品厚度(mm)。

断裂伸长率 ϵ 定义如下:

$$\epsilon = \frac{\Delta L_0}{L_0} \quad (2)$$

式中: ϵ 为断裂伸长率,即应变值,用比值或百分数表示, L_0 为试样初始标距(mm), ΔL_0 为试样标记之间的长度增量(mm)。

拉伸弹性模量 E 定义如下:

$$E = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1} \quad (3)$$

式中: E 为拉伸弹性模量(MPa), σ_1 为应变值 $\epsilon_1=0.0005$ 时测量的应力(MPa); σ_2 为应变值 $\epsilon_2=0.0025$ 时测量的应力(MPa)。

2 结果与分析

2.1 结构表征

2.1.1 微观结构 图 1 为纤维素原样与酶协同高压射流方法得到样品的扫描电镜图。图 1(a)为原纤维素样品,酶解与高压射流处理后,纤维素微纤束的三维尺寸均明显减小,原始束状结构被打开,直径方向上的撕裂剥离效果明显,如图 1(b~d)所示;图 1(b,c)表明大纤束与小纤束并存,解离剥离明显的小纤束在视野中连片存在,受放大倍数限制,边界无法清晰分辨;图 1(d)中解离剥离明显的纤维素直径可以在 100nm 以下,纵横交织成网状覆盖或缠绕在大纤束上。以上结果说明该方法可以获得较小直径的微纤化纤束,要想获得更加均匀一致的微纤化纤维素产品,需要增加高压射流的次数以增强微细化效果或者采用分离方法除去大纤束。与 Zhou 等^[16]的酶预处理结合 150MPa、20 次高压射流操作与 Zhang 等^[19]的酶预处理结合 137MPa、20 次高压射流操作所获得的纤维束微纤直径相当,而文中为 4 次 40MPa 基础上再进行 2 次 110MPa 高压射流操作,说明递进的操作压力能够获得同样的纤束剥离效果并且减少高压射流操作堵塞。

2.1.2 聚集态结构表征 图 2(a~e)为未处理和经 0.1%、0.33%、0.5%、1%酶解协同高压射流处理纤维素冻干粉样的 X 衍射图,所有样品在 $2\theta=22.6^\circ$ 出现峰值,这与 Besbes 等^[22]和 Tonoli 等^[23]关于纤维素 I 的晶格平面一致,表明样品中含有大量天然的纤维素 I。此外,所有样品的 X 衍射图在 $2\theta=14.8^\circ$ 和 16.3° 也出现了重叠峰,表明酶解协同高压射流处理后纤维素的晶体结构并未改变。依据结晶度 C_1 计

算方法,未处理和经 0.1%、0.33%、0.5%、1%酶解协同高压射流处理纤维素冻干粉样的结晶度分别为 79.4%及 74.2%、77.3%、75.9%、77.7%,可见,试验条件下纤维素结晶度略有降低。

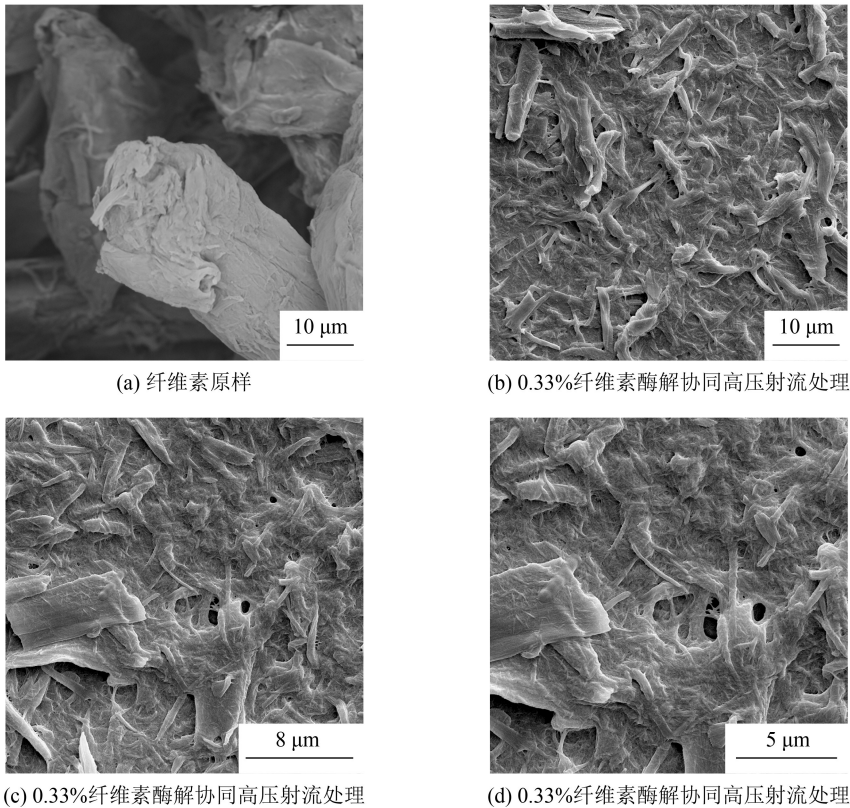
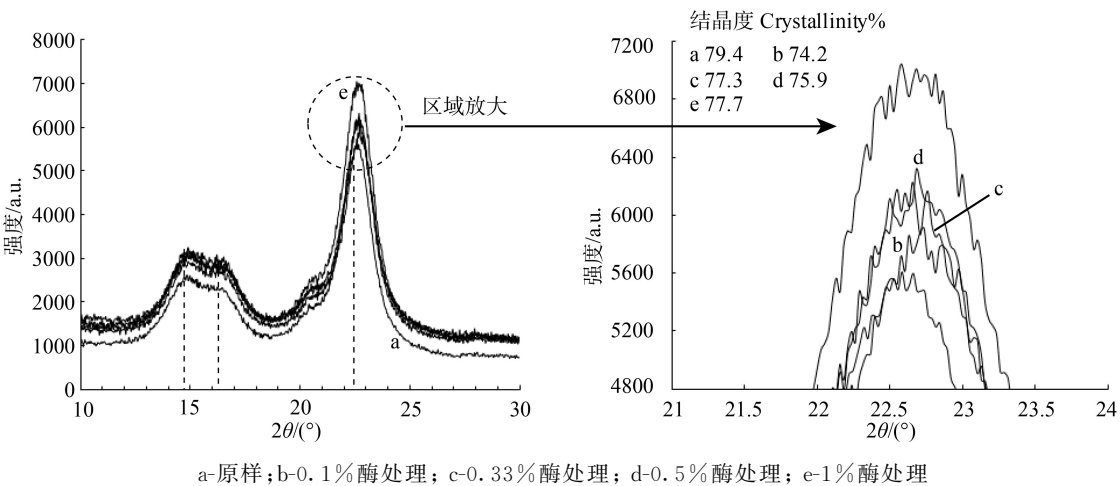


图 1 酶解协同高压射流处理后纤维素水分散液样品的扫描电镜观察

Figure 1 Scanning electron microscope of cellulose treated by enzymatic hydrolysis and high pressure jet



a-原样;b-0.1%酶处理;c-0.33%酶处理;d-0.5%酶处理;e-1%酶处理

图 2 酶结合高压射流处理后纤维素冻干粉样的 X 衍射图谱

Figure 2 X-ray diffraction patterns of cellulose treated by enzymatic hydrolysis and high pressure jet

2.2 性能测试

2.2.1 粒径分布 纤维素原样与酶解协同高压射流处理制备的微纤化纤维素的粒径分布如图 3 所示,经过酶解协同高压射流处理处理的纤维素样品粒径分布曲线均左移,说明整体上纤维素样品的尺寸缩减

明显。纤维素原样 D50 为 $92.537\mu\text{m}$, 经过 0.1%、0.33%、0.5%、1% 纤维素酶解协同高压射流处理的纤维素样品 D50 分别为 22.684 、 21.448 、 21.342 和 $17.372\mu\text{m}$, 该数据表明 1% 酶解协同高压射流方法的纤维素微细化效果更好。

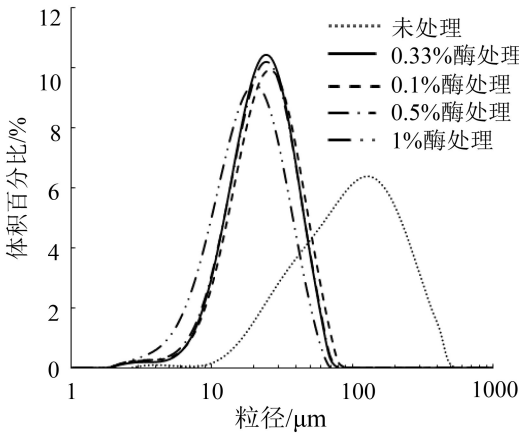


图 3 纤维素酶解协同高压射流处理纤维素样品的粒径分布
Figure 3 The particle size distribution of cellulose samples treated by enzymatic hydrolysis of cellulose and high pressure jet

2.2.2 静态流变特性 纤维素酶解协同高压射流处理纤维素样品的静态流变特性如图 4 所示,随着剪切速率的增加,纤维素水分散液的黏度均降低,符合假塑性流体剪切变稀的特性。这可能是因为纤维素分子之间、纤维素分子与水间的氢键作用形成的三维网络结构随着剪切速率的增加被破坏,导致黏度下降。0.1%和 0.33%酶处理所得的纤维素水分散液随着剪切速率的升高,黏度下降的速度明显比 0.5%和 1%酶处理的快,说明随着酶浓度的增加,纤维素水分散液的黏度增加。其中 0.1%和 0.33%酶处理所得到的纤维素水分散液随着剪切速率的增加,出现黏度突增现象,与 Pääkkö 等的研究结果相似^[24],分析其可能的原因为较低浓度的酶预处理得到的微纤束长径比更大,形成大长径比的纤丝更多,纤维素分子链间更易形成缠结的三维网络结构,当剪切速度增加到一定数值,黏度的持续降低效应被抑制,甚至造成黏度增加的现象^[25]。

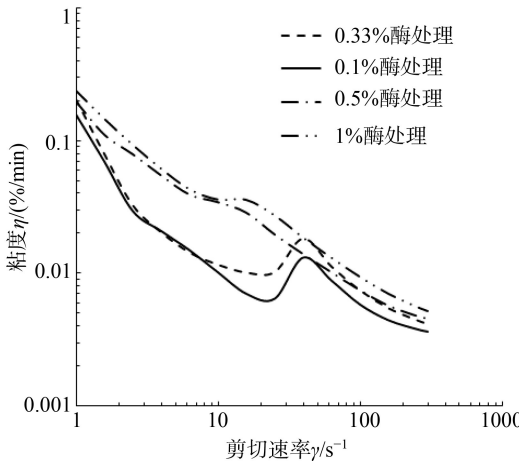


图 4 纤维素酶解协同高压射流处理纤维素样品的静态流变特性分析
Figure 4 Analysis of static rheological properties of cellulose samples treated by enzymatic hydrolysis of cellulose and high pressure jet

2.2.3 热重分析 纤维素酶解协同高压射流处理纤维素样品的热重分析如图 5 所示,未处理纤维素样品的失重速率峰值 49%/min 出现在较高温度 370℃,说明原始样的热稳定性优于经酶处理的纤维素样品。0.1%酶处理所得到的样品在 279℃时出现失重速率峰值 24%/min,热稳定性最差,0.5%和 1%酶处理样品在 351℃和 357℃时出现失重速率峰值 31%/min 和 34%/min,二者的热稳定性比 0.1%酶处理样品的热稳定性要好,推测其原因为,纤维素内切葡聚糖酶主要水解纤维素的无定形区,随着酶预处理浓度的升高,保留的纤维素结晶区越多,纤维素分子间作用力越强,熔融温度变高,所以热稳定性变高^[15,19,26]。

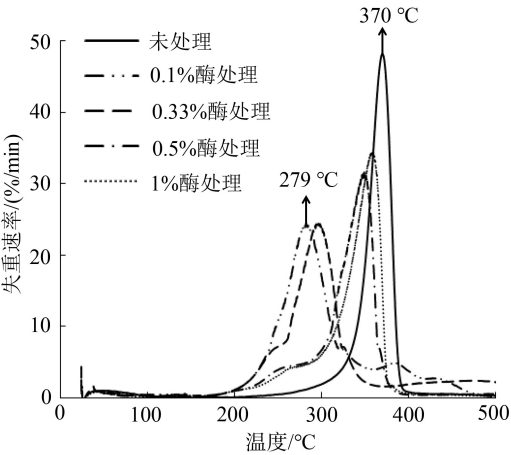


图 5 酶解协同高压射流处理纤维素样品的热重分析

Figure 5 Thermogravimetric analysis of cellulose samples treated by enzymatic hydrolysis and high pressure jet

2.2.4 纤维素薄膜拉伸特性分析 不同浓度酶解协同高压射流处理制备的纤维素薄膜拉伸特性相似。图 6 为 0.33%酶解协同高压射流处理制备的纤维素薄膜拉伸特性曲线,断裂前纤维素薄膜样品的拉伸特性基本呈线性规律变化,薄膜试样 1~2 的拉伸曲线呈现小幅的迟滞拖后薄膜试样 3~5 的拉伸曲线基本保持线性规律变化,说明纤维素薄膜试样 1 和 2 的蠕变性略强。相同处理方法获得薄膜试样的拉伸特性略有差异,可能是单个薄膜试样的网状微纤结构和微纤尺寸差异造成。

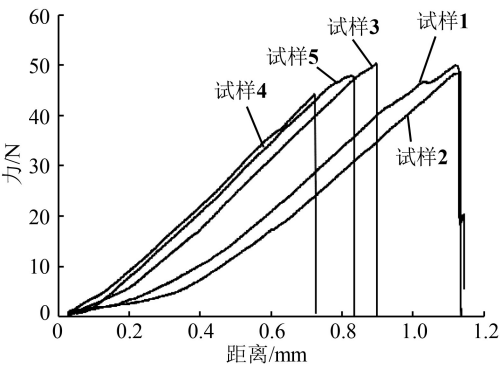


图 6 0.33%酶处理浓度制得的纤维素薄膜拉伸特性曲线

Figure 6 Tensile characteristic curves of cellulose film prepared by 0.33% enzyme treatment concentration

0.1%酶处理浓度得到的纤维素,所制备的薄膜样品交联结构松散,过于松脆,无法获得正常的拉伸实验数据。如表 1 所示,随着酶浓度的增加,纤维素薄膜抗拉强度和弹性模量均增大,断裂伸长率略微减小。表明随着酶浓度的增加,纤维素薄膜的力学性能越好,分析其可能原因为,随着酶预处理浓度的升高,保留的纤维素结晶区越多,纤维素分子间作用力越强,力学性能越好。0.5%酶处理基本可以达到最好的拉伸特性,继续增加酶的浓度,拉伸特性几乎没有明显改变。

表 1 不同酶浓度预处理协同高压射流处理制备的薄膜拉伸性能比较

Table 1 Comparison of tensile properties of films prepared by different enzyme concentration pretreatment and high pressure jet treatment

样品	拉伸强度/MPa	断裂伸长率/%	弹性模量/MPa
0.1%酶处理	—	—	—
0.33%酶处理	13.74	8.90%	201.76
0.5%酶处理	18.74	9.16%	254.62
1%酶处理	18.99	8.74%	293.80

3 结论与展望

本文结合酶解和高压射流处理制备微纤化纤维素,并对样品进行了结构表征和性能测试,如扫描电镜观察、静态流变分析、热重分析和纤维素薄膜的拉伸特性分析。酶解协同高压射流处理方法有良好的超微细化效果,纤维素微纤束的分解剥离效果较好,可以使纤维素原纤束直径由几至几十微米下降到几十至几百纳米之间。随着酶处理浓度从 0.1%增加至 0.5%,高压射流处理后的纤维素水分散液的黏度增加,热稳定性和纤维素薄膜的拉伸性能越好。虽然 1%酶解协同高压射流处理获得的纤维素样品粒径中径最小,但 0.5%酶解协同高压射流处理即可获得接近最优的热稳定性和薄膜拉伸特性。后续拟继续开展高压射流次数和操作压力等操作条件的影响研究,以促使微纤化纤维素产品具备更好的微观结构和薄膜拉伸性能等。

参考文献:

[1] Oleksandr N, Mohamed N B, Julien B. Ind Crop Prod, 2016, 93: 2~25.

[2] 杜海顺,刘超,张苗苗,孔庆山,李滨,咸漠. 化学进展,2018,30(4):448~462.

[3] Abraham E, Deepa B, Pothan L A, Jacob M, Thomas S, Cvelbar U, Anandjiwala R. Carbohydr Polym, 2011, 86(4): 1468~1475.

[4] 姚一军,王鸿儒. 化工进展,2018,37(2):599~609.

[5] 陈帅,李新平,杜敏,王志杰,陈立红. 功能材料,2015,46(8):8090~8093.

[6] Zhu H L, Luo W, Fang Z Q, Zhu J Y, Henriksson G, Himmel M E, Hu L B. Chem Rev, 2016, 116(16): 9305~9374.

[7] 许凯瑞,宫庆华,周国伟. 高分子通报,2020,(10):12~20.

[8] 殷晓春,思广慧,师玉卓,王新华,顾永娥,孟军亮,张娜娣. 高分子通报,2019,(11):15~25.

[9] Khan A, Wen Y B, Huq T, Ni Y H. J Agric Food Chem, 2018, 66(1): 8~19.

[10] 蔡杰,吕昂,周金平,张俐娜. 纤维素科学与材料. 北京:化学工业出版社,2015,277~300.

[11] Moon R J, Martini A, Nairn J, John S, Jeff Y. Chem Soc Rev, 2011, 40: 3941~3994.

[12] Lee S Y, Chun S J, Kang I A, Park J Y. J Ind Eng Chem,2008,15(1): 50~55.

[13] Zhang J H, Song H N, Lin L, Zhuang J P, Pang C S, Liu S J. Biomass Bioenergy,2012,39: 78~83.

[14] 冯瞿,吴雪,王博洋,刘斌. 功能材料,2020,51(8):8078~8084.

[15] Qing Y, Ronald S, Zhu J Y, Agarwal U, Cai Z Y, Wu Y Q. Carbohydr Polym, 2013, 97(1): 226~234.

[16] Zhou H F, St J F, Zhu J Y. Cellulose, 2019, 26(1): 543~555.

[17] Tian X, Lu P, Song X, Nie S X, Liu Y, Liu M Y, Wang Z W. Cellulose, 2017, 24(9): 3929~3942.

[18] Liang C, Gu C, Raftery J, Karim M N, Holtzapple M. Biotechnol Biofuels, 2019, 12(1): 34~46.

[19] Zhang K, Zhang Y H, Yan D P, Zhang C Y, Nie S X. Cellulose, 2018, 25(9): 5049~5061.

[20] Hu J G, Tian D, Renneckar S, Saddler J N. Sci Rep, 2018, 8(1): 3195~3202.

[21] Eyholzer C, Bordeanu N, Lopez-Suevos F. Cellulose, 2010, 17:19~30.

[22] Besbes I, Alila S, Boufi S. Carbohydr Polym, 2011, 84(3): 975~983.

[23] Tonoli G H D, Teixeira E M, Corrêa A C, Marconcini, J M, Caixeta L A, Pereira-da-Silva M A, Mattoso L H C. Carbohydr Polym, 2012, 89(1):80~88.

[24] Pääkkö M, Ankerfors M, Kosonen H, Nykänen A, Ahola S, Österberg M, Ruokolainen J, Laine J, Larsson P T, Ikkala O, Lindström T. *Biomacromolecules*, 2007, 8: 1934~1941.

[25] Samir M A S A, Alloin F, Paillet M, Dufresne A. *Macromolecules*, 2004, 37: 4313~4316.

[26] Quiévy N, Jacquet N, Slavons M, Deroanne C, Paquot M, Devaux J. *Polym Degrad Stabil*, 2010, 95: 306~314.

Effect of Enzyme Pretreatment Combined with High Pressure Jet on Physicochemical Properties of Microfibrillated Cellulose

WANG Xiao, WU Xue* , ZHAO Chun

(*School of Artificial Intelligence , Beijing Technology and Business University , Beijing 100048 , China*)

Abstract:Cellulase pretreatment has attracted much attention in the preparation of microfibrillated cellulose due to its environmental friendliness. In this study, different concentrations of cellulase and high pressure jet treatment were used to prepare microfibrillated cellulose. The results show that the diameter of cellulose fibrils was decreased from several or tens of microns to tens or hundreds of nanometers and crystal structure was not changed after cellulase pretreatment and high pressure jet treatment. The particle size analysis shows that the cellulose micronizing level based on 1% (*w/w*) cellulase pretreatment and high pressure jet treatment is higher. With the increase of enzyme concentration from 0.1% to 0.5%, the viscosity of cellulose aqueous dispersion increased, and the thermal stability and the tensile properties of cellulose films were enhanced. The average tensile strength of the films treated with 0.5% enzyme and high pressure jet treatment is 18.74MPa. The tensile properties of the films treated with 1% cellulase pretreatment and high pressure jet treatment had little change. And the average tensile strength is 18.99MPa, the average elongation at break is 8.74%, and the average elastic modulus is 293.8MPa.

Key words:Microfibrillated cellulose; Enzyme pretreatment; High pressure jet; Micronization