

文章编号:0254-0096(2018)08-2096-07

基于组分分离的毛竹转化研究

孙茉莉, 付 严, 常 杰

(华南理工大学化学与化工学院传热强化与过程节能教育部重点实验室, 广州 510640)

摘 要: 采用水热法、离子液体-乙醇-水体系及其组合预处理方法对毛竹进行组分分离, 研究不同方法对毛竹组成及酶解转化的影响, 并对组合预处理提取的木质素进行缓和氢解研究。结果表明: 水热法主要脱除半纤维素组分, 离子液体-乙醇-水体系能脱除大量的半纤维素和木质素, 经水热法、离子液体-乙醇-水体系及其组合预处理后的毛竹在酶水解 120 h 后, 葡萄糖得率分别为 42.12%、57.67% 和 82.87%, 是未处理毛竹的 1.35、1.85 和 2.66 倍。

关键词: 毛竹; 组分分离; 酶水解; 木质素; 氢解

中图分类号: TQ353.1

文献标识码: A

0 引 言

木质纤维素主要由纤维素、半纤维素和木质素组成, 各组分紧密交联, 必须通过预处理对其加以分离, 以便进一步加工利用。水热法条件温和、环境友好, 能高效溶解半纤维素, 而且纤维素损失较少^[1,2]。Berlin 等^[3]发现增加半纤维素的溶解能明显促进后续纤维素的酶水解。离子液体以其绿色环保、热稳定性好、不挥发、不易燃以及可循环利用等特点在木质纤维素的预处理方面获得了广泛应用。衡 周等^[4]发现离子液体预处理能脱除木质素、增大比表面积、显著提高稻草的酶解产糖量。此外, 研究表明: 有机溶剂的存在能防止木质素的缩合^[5], 可更高程度地脱除木质素, 提高纤维素酶的可及性, 同时回收木质素作为高附加值产品。

毛竹纤维结构致密、硬度高、处理难度大, 若能实现各组分的高效转化对充分利用竹资源将有重要意义。本研究采用水热法、离子液体-乙醇-水体系及两者组合预处理, 考察不同预处理方式对毛竹组成及酶解转化的影响, 旨在提高毛竹酶解转化效率。此外, 对提取的木质素进行缓和氢解初步研究, 以期对毛竹的综合利用提供理论依据。

1 材 料 与 方 法

1.1 原料、试剂与仪器

原料及试剂: 毛竹原料产自安徽安庆, 筛选 40~60 目的竹粉, 105 °C 烘干恒重后密封储存备用。纤维素酶(70 U/g)购于上海伯奥生物科技有限公司, 离子液体 1-烯丙基-3-甲基咪唑醋酸盐([AMIM]OAc)购于中国科学院兰州化学物理研究所, 5% Ru/C 催化剂(水含量 50%)购于百灵威科技有限公司。

仪器: E100 高温高压反应釜(北京森朗仪器有限公司), JXF-8 均相反应器(烟台市招远松岭仪器设备有限公司), DHG-9070A 电热恒温鼓风干燥箱(上海一恒科学仪器有限公司), DSHZ-300A 旋转式恒温振荡器(太仓市实验设备厂)。

1.2 实验方法

1.2.1 毛竹的预处理

本课题组前期已完成了水热法和离子液体-乙醇-水体系预处理毛竹的条件优化^[6], 毛竹的预处理流程总图见图 1。水热预处理过程在高温高压反应釜中进行, 按固液比 1:12 的比例加入竹粉与去离子水, 在 170 °C 下反应 60 min, 反应结束后冷却过滤, 滤渣 S₁ 经去离子水洗涤后在 105 °C 烘箱中干燥

收稿日期: 2016-05-06

基金项目: 国家自然科学基金(21476090); 国家重点基础研究发展(973)计划(2013CB228104); 中央高校基本科研业务费专项资金

通信作者: 常 杰(1968—), 博士、教授、博士生导师, 主要从事能源化工、生物质能源方面的研究。changjie@scut.edu.cn

并称重。

毛竹原料 S_0 或滤渣 S_1 与离子液体-乙醇-水混合溶剂按固液比 1:10 的比例混合,离子液体与乙醇、水的体积比为 5:5:0.5,置于均相反应器中,转速为 100 r/min,在 170 °C 下反应 4 h。反应结束后,将所得物料过滤分离,滤渣 S_2 或滤渣 S_3 用无水乙醇多次洗涤,在 105 °C 烘箱中干燥后称重。

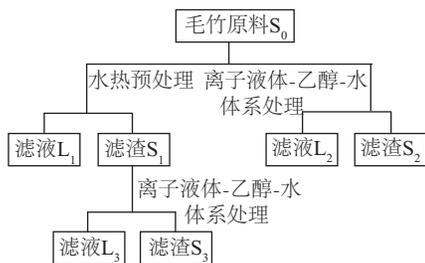


图1 毛竹预处理流程总图

Fig. 1 The overall scheme of bamboo pretreatment

1.2.2 毛竹的酶水解

在 150 mL 具塞锥形瓶中加入 2.00 g 毛竹样品和 50 mL、pH 值为 4.8 的柠檬酸-柠檬酸钠缓冲溶液。纤维素酶用量为 35 U/g 底物,将反应物充分混匀后放入已加热至 50 °C 的恒温振荡器中,在转速 150 r/min 下进行酶水解反应。在此期间定时取样,采用 DNS 法^[7]测定酶解液中葡萄糖含量。酶解葡萄糖得率按式(1)计算:

$$\text{葡萄糖得率} = \frac{\text{酶解后葡萄糖质量} \times 0.9}{\text{酶解前纤维素质量}} \times 100\% \quad (1)$$

1.2.3 木质素的再生与缓和氢解

滤液 L_3 经减压蒸馏,浓缩液缓慢加入到过量的去离子水中,快速搅拌,产生大量絮状沉淀,此絮状沉淀即为再生木质素,过滤分离,在 105 °C 烘箱中干燥后称重。

称取 1.00 g 木质素于 100 mL 间歇式反应釜中,加入 50 mL,体积分数为 65% 的乙醇水溶液以及 0.4 g 的 5% Ru/C 催化剂,反应釜密封后用 2 MPa 的 H_2 置换釜内空气 5 次,然后通入 H_2 至气压为 2 MPa,设置温度 250 °C、时间 90 min、转速 500 r/min,反应结束后,取出反应釜冷却至室温。产物过滤后取少量液体样品,用乙酸乙酯稀释一定倍数后进行 GC-MS 分析。

1.3 分析方法

1.3.1 化学成分分析

纤维素与综纤维素含量的测定分别采用硝酸-乙醇法和次氯酸钠-乙酸法^[8],半纤维素含量为综纤维素与纤维素含量之差,酸溶和酸不溶木质素含量参照 GB/T 103379—1989 和 GB/T 2677.8—1994 法测定。

1.3.2 红外光谱(FT-IR)分析

采用 KBr(光谱纯)压片法在美国 Nicolet 公司 Nexus 670 型红外光谱仪上测定预处理后毛竹的 FT-IR 谱图,波长扫描范围为 400~4000 cm^{-1} 。

1.3.3 结晶度(XRD)分析

采用德国 Bruker 公司 D8 ADVANCE 型 X 射线衍射仪分析预处理后毛竹的结晶结构。采用铜靶,扫描范围 10°~40°,扫描步长 0.04°。

1.3.4 固体核磁共振(¹³C NMR)分析

采用德国 Bruker 公司 AVANCE DRX 400 核磁共振仪分析预处理后毛竹的结构特征。

1.3.5 气相色谱-质谱联用仪(GC-MS)分析

采用日本岛津 QP2010 Plus 气相色谱-质谱联用仪(99.99% 氦气为载气,30 m×0.25 mm×0.25 μm 的 Rxi-5ms 色谱柱)对木质素解聚产物进行有机成分分析,采用质谱检测器,检测范围 20~500 m/z。进样口、离子源温度分别为 270、200 °C,进样方式为分流进样,分流比 5:1。所有物质均通过质谱库 NIST08 和 NIST08s 进行识别。具体程序方法为:初始温度为 40 °C 并保持 4 min 后,以 5 °C/min 的升温速率升至 140 °C,再升温至 280 °C,以 14 °C/min 的升温速率,最终在 280 °C 下保持 6 min。

2 结果与讨论

2.1 不同预处理对毛竹化学组成的影响

预处理前后毛竹的化学组成如表 1 所示,水热法对毛竹半纤维素的脱除有明显效果,半纤维素含量由 28.62% 降至 6.55%,脱除率达 82.88%,而对木质素和纤维素脱除较少;离子液体-乙醇-水体系能脱除大量半纤维素和木质素,原料 S_0 经离子液体-乙醇-水体系处理后,半纤维素和木质素含量分别为 9.67% 和 13.09%,对应的脱除率分别为 80.99% 和 71.54%;组合预处理后,半纤维素完全脱除,木质素脱除率为 89.50%。离子液体的作用机理是破坏毛

竹三组分之间的氢键和网状结构^[9],减弱各组间作用力,加强对毛竹的溶解,有机溶剂和水的存在有力促进了木质素和半纤维素的水解。

表1 预处理前后毛竹的化学组成(%)

内容物	纤维素	木质素	半纤维素	其他
S ₀	42.68	25.88	28.62	2.82
S ₁	55.57	34.17	6.55	3.71
S ₂	74.24	13.09	9.67	3.00
S ₃	91.38	6.32	0	2.30

2.2 预处理后毛竹的物化性能分析

2.2.1 FT-IR 分析

预处理前后毛竹的红外光谱见图2。1735 cm⁻¹处为半纤维素木聚糖中羧基的特征吸收峰^[10],S₀在1735 cm⁻¹处有明显的吸收峰,S₁中此峰强度明显减弱,且右移到1712 cm⁻¹处,说明半纤维素在水热预处理中发生了剧烈降解,S₂和S₃中未出现此吸收峰,说明半纤维素酯键断裂。S₀中1600和1510 cm⁻¹处是木质素芳环骨架特有的吸收峰,S₁中2处吸收峰强度明显增大,这是由于半纤维素被去除,木质素的相对含量变大所致,同时也说明水热预处理对木质素基本无降解作用,在S₂中,1510和1600 cm⁻¹处的弱吸收峰说明毛竹经离子液体-乙醇-水体系预处理后,仍有少量木质素存在;S₃中木质素芳环骨架特征峰消失,说明产物表面基本未吸附木质素,组合预处理成功打破纤维素与木质素之间的氢键连接,使大量木质素降解。897 cm⁻¹为纤维素特征峰由β-D-葡萄糖苷引起,水热预处理后,此峰强度基本

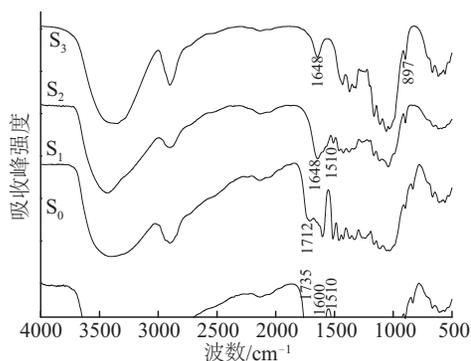


图2 预处理前后毛竹的红外谱图

Fig. 2 FTIR spectra of bamboo before and after pretreatment

不变,说明水热预处理对纤维素的降解较少,S₂和S₃中此峰略有增强,是因为随着半纤维素和木质素的去除,纤维素的相对含量较大。1648 cm⁻¹处的吸收峰是由纤维素吸收的水产生的^[10]。

2.2.2 ¹³C NMR 分析

图3是预处理前后毛竹的¹³C NMR谱图。半纤维素和纤维素的C1信号峰出现在化学位移104.96 ppm(ppm为化学位移的单位,后同)处,88.66、84.02 ppm处的吸收峰来自于结晶区、无定型区纤维素的C4,74.99、72.55 ppm这2处交迭强信号峰归属于半纤维素的C2、C3、C4以及纤维素的C2、C3、C5,64.81 ppm和62.74 ppm来自木聚糖的C5以及纤维素结晶区和无定形区的C6信号峰。木质素芳环的特征峰一般出现在104~160 ppm范围内,152.58、148.10、133.42、55.90 ppm处分别代表紫丁香基(S)的C3和C5、愈创木基(G)的C3、非醚化的S或G的C1及S和G中甲氧基的信号峰。173.32 ppm处的化学位移是半纤维素和木质素中羧基的特征信号峰,21.03 ppm处是饱和侧链上的甲基信号峰。

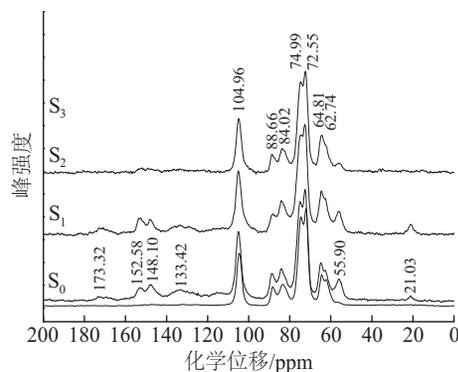


图3 预处理前后毛竹的¹³C NMR谱图

Fig. 3 ¹³C NMR spectra of bamboo before and after pretreatment

从图3可看出,毛竹经水热预处理后,在60~110 ppm范围内代表碳水化合物的信号峰强度有所减弱,这主要是由于半纤维素被降解使毛竹中半纤维素含量降低所致。173.32 ppm和21.03 ppm处的峰在S₂、S₃中消失,S₂在152.58、148.10、55.90 ppm处出现的弱峰表明存在少量的木质素,而S₃中未出现这些峰,表明组合预处理中半纤维素和木质素的去除较单一预处理更为彻底。¹³C NMR与FT-IR分析结果一致,均表明水热法能大量脱除半纤维素,而离子液体混合溶剂可使大量木质素溶解,组

合处理后能得到高纯度的粗纤维素残渣,增强了纤维素的酶解可及性。

2.2.3 XRD 分析

预处理前后毛竹的 XRD 分析如图 4 所示。4 种样品的主要信号峰均在 2θ 为 22.5° 和 $14^\circ\sim 16^\circ$ 之间,纤维素的晶态结构并未因预处理而发生明显改变。由结晶度指数公式计算得出 S_0 的结晶度为 44.83%, S_1 的结晶度为 45.75%, 结晶度略微提高说明水热预处理脱除了大量无定型半纤维素。而经离子液体-乙醇-水体系处理后,纤维素的结晶度有所降低, S_2 、 S_3 对应的结晶度分别为 43.96% 和 37.14%, 这表明经离子液体混合溶剂处理会破坏纤维素的结晶结构,而结晶度的降低可提高纤维素的反应活性,增强其可塑性,有助于提高酶解速率和糖化产率。

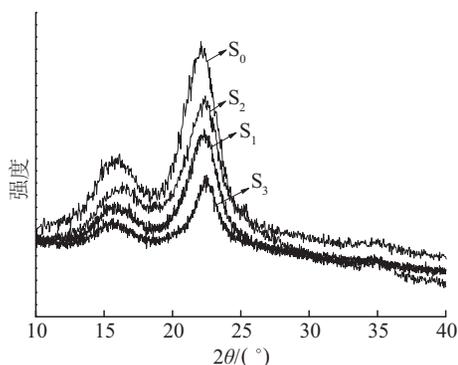


图4 预处理前后毛竹的 XRD 图

Fig. 4 XRD spectra of bamboo before and after pretreatment

2.3 不同预处理对毛竹酶水解的影响

经不同方法处理后的固体组分用纤维素酶进行酶水解,结果如图 5 所示。可看出,单一的水热法或离子液体-乙醇-水体系预处理后,酶水解所得葡萄糖含量均有较大提高,说明这 2 种方法均能促进毛竹的酶水解反应。在酶水解 120 h 后, S_0 的葡萄糖得率为 31.15%, S_1 的葡萄糖得率增至 42.12%, 这归因于水热预处理导致大量半纤维素降解和木质素-碳水化合物连接键的断裂,从而破坏了细胞壁的保护屏障,增强了纤维素酶解可及性; S_2 的葡萄糖得率达到 57.67%, S_3 获得了 82.87% 的葡萄糖得率。经离子液体-乙醇-水体系处理后葡萄糖得率的增强是由于无定形的半纤维素和大量木质素在处理过程中受到严重降解,纤维素的孔隙度增大。组合预处理获得最大葡萄糖得率说明水热预处理能显著促进有机溶剂去木质化,这与文献[11]报道相

一致。此外,虽然酶解实验进行了 120 h,但大多数可发酵性糖在 48 h 内就已基本释放。结果显示,经 3 种方法预处理后的毛竹,葡萄糖得率分别是未处理毛竹的 1.35、1.85 和 2.66 倍,相比于未经处理的毛竹和只经一步预处理的毛竹,组合预处理过程能显著提高底物的葡萄糖得率。事实上,一些因素,如半纤维素的去除、对酶的非可逆性吸附的减弱、木质素的部分移除、比表面积的增加及生物质表面的松散程度,均有利于增大纤维素的酶解糖化率。

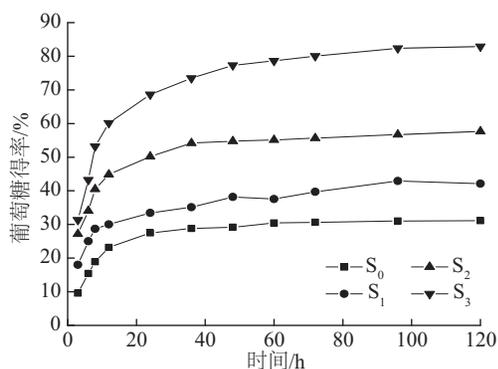


图5 毛竹纤维素酶水解的葡萄糖得率

Fig. 5 Glucose yields of enzymatic hydrolysis of the cellulose in bamboo

He Mingxiong 等^[12]研究了稀酸预处理竹笋壳纤维和竹叶茎,葡萄糖得率仅为 12.13%~25.65%。潘丕克等^[13]采用蒸汽爆破组合碱性 H_2O_2 预处理橡胶壳后,酶解 120 h 葡萄糖得率为 76.65%。Li 等^[14]比较了离子液($[C_2MIM][OAc]$)和稀酸预处理对柳枝稷的生物顽固性,去木质化和酶解糖化的影响,结果表明离子液体预处理可获得更高的葡聚糖产量。本文采用的水热法组合离子液体预处理方法不仅可实现毛竹的全组分分离,有助于进一步的转化利用,还能显著增大葡萄糖得率。相比于其他方法,该工艺具有环境友好、对设备无腐蚀、溶剂可回收利用等优点。

2.4 毛竹木质素缓和氢解产物的 GC-MS 分析

木质素是自然界中唯一含有芳香环的可再生能源,可替代化石资源作为原料生产酚类化合物^[15]。图 6 是木质素缓和氢解液体产物的 GC-MS 谱图,毛竹木质素经缓和氢解后,可得到愈创木酚、乙基苯酚、丁香酚等酚类化合物,此外还有紫丁香醇、藜芦醇、对羟基苯丙酸甲酯和 4-羟基-3-甲氧基-苯丙酸乙酯等。

由图 6 和表 2 可看出,3,5-二甲氧基-4-羟基苯乙酸是含量最多的产物,其次是甲氧基丁子香酚,它们主要来源于 S 型结构单元,是重要的有机合成中间体。另外,在毛竹木质素中,除含有 GSH

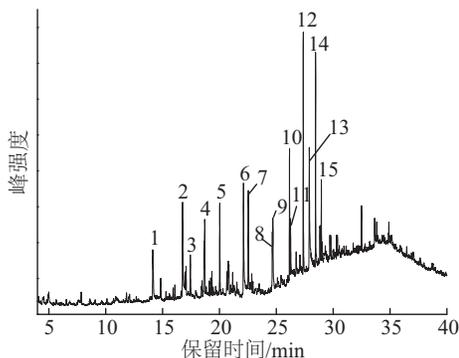


图6 木质素缓和氢解液体产物的GC-MS谱图

Fig. 6 GC-MS spectrum of liquid products from lignin hydrogenolysis

表2 木质素缓和氢解的主要产物

Table 2 Main products of lignin hydrogenolysis

序号	化合物	化学结构	相对含量/%
1	愈创木酚		5.10
2	4-乙基苯酚		7.93
3	4-甲基愈创木酚		3.23
4	乙酸-2,4-二甲基-苯酚酯		5.22
5	4-乙基愈创木酚		6.81
6	紫丁香醇		9.26
7	4-丙基愈创木酚		7.63
8	藜芦醇		3.12
9	丁香酚		4.47
10	香草酸甲酯		7.18
11	香草基甲基酮		3.65
12	3,5-二甲氧基-4-羟基苯乙酸		14.07
13	对羟基苯丙酸甲酯		8.93
14	甲氧基丁子香酚		9.96
15	4-羟基-3-甲氧基-苯丙酸乙酯		3.44

的 3 种基本结构单元外,还存在对羟基肉桂酸型单体。GC-MS 分析结果显示,竹木质素缓和氢解产物中,S 和 G 型的酚类化合物含量较 H 型丰富,而且所得产物基本都是短链的酚类化合物,它们是一类作用较强的天然抗氧化物质,例如丁香酚具有很强的杀菌力,也具体降血压的功效,还可用在食用、皂用及化妆品等香精配方中;香草酸甲酯是合成很多药物和化工产品的重要原料和前体物质。因而若进一步优化条件,有望制备高附加值的酚类化学品。

3 结 论

本文研究了水热法、离子液体-乙醇-水体系及其组合预处理方法对毛竹组成及酶解转化的影响,采用缓和氢解对木质素进行转化研究,得出以下主要结论:

1)水热预处理主要脱除半纤维素、纤维素和木质素基本不受影响,半纤维素脱除率为 82.88%,酶水解 120 h 后葡萄糖得率达 42.12%,是未处理毛竹的 1.35 倍。

2)离子液体-乙醇-水体系能脱除 80.99%和 71.54%的半纤维素和木质素,组合预处理能完全脱除半纤维素,对木质素脱除率为 89.50%,酶水解 120 h 后葡萄糖得率分别为 57.67%和 82.87%,分别是未处理毛竹的 1.85 和 2.66 倍。组合预处理可更大程度地脱除半纤维素和木质素,增强纤维素酶的可及性,得到更高的酶解转化率。

3)XRD 分析表明,水热预处理基本不破坏纤维素的结晶度,离子液体-乙醇-水体系处理会破坏纤维素的结晶结构。FT-IR 和 ^{13}C NMR 分析表明,组合预处理中半纤维素和木质素去除较单一预处理更为彻底。通过 GC-MS 分析可知,毛竹木质素通过缓和氢解可得到短链的酚类化合物,它们是一类作用较强的天然抗氧化物质,也是重要的有机合成中间体。

[参考文献]

- [1] 孙 群,李纪红,付兴国,等.水热法预处理对甜高粱秆蒸酒渣酶解糖化效果的影响[J].太阳能学报,2013,34(12):2073—2077.
- [1] Sun Qun, Li Jihong, Fu Xingguo, et al. Hydrothermal process for enzymatic hydrolysis of sweet sorghum

- bagasse from ASSF [J]. *Acta Energiae Solaris Sinica*, 2013, 34(12): 2073—2077.
- [2] 徐明忠, 庄新姝, 袁振宏, 等. 高温液态水法水解稻秆的试验研究[J]. *太阳能学报*, 2009, 30(8): 1145—1149.
- [2] Xu Mingzhong, Zhuang Xinshu, Yuan Zhenhong, et al. Experimental study on rice straw hydrolysis by hot liquid water [J]. *Acta Energiae Solaris Sinica*, 2009, 30(8): 1145—1149.
- [3] Berlin A, Balakshin M, Gilkes N, et al. Inhibition of cellulose, xylanase and glucosidase activities by softwood lignin preparations [J]. *Journal of Biotechnology*, 2006, 125(2): 198—209.
- [4] 衡周, 胡秋龙, 苏小军, 等. 两种咪唑类离子液体预处理对稻草酶解产糖的影响 [J]. *太阳能学报*, 2013, 34(7): 1120—1124.
- [4] Heng Zhou, Hu Qiulong, Su Xiaojun, et al. Enzymatic hydrolysis of straw pretreated with two ionic liquids [J]. *Acta Energiae Solaris Sinica*, 2013, 34(7): 1120—1124.
- [5] 余华明. 基于离子液体的生物质高效分离和改性研究 [D]. 广州: 华南理工大学, 2012.
- [5] Yu Huaming. Efficient separation and modification of biomass based on ionic liquids [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2012.
- [6] 孙茉莉, 刘钧, 付严, 等. 离子液体-乙醇-水体系水热法分离毛竹组分 [J]. *过程工程学报*, 2016, 16(1): 86—92.
- [6] Sun Moli, Liu Jun, Fu Yan, et al. Fractionation of bamboo in ionic liquid-ethanol-H₂O system by hydrothermal method [J]. *The Chinese Journal of Process Engineering*, 2016, 16(1): 86—92.
- [7] Ghose T K. Measurement of cellulase activities [J]. *Pure and Applied Chemistry*, 1987, 59(2): 257—268.
- [8] 石淑兰, 何福望. 制浆造纸分析与检测 [M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2003, 24—50.
- [8] Shi Shulan, He Fuwang. Pulp and paper analysis and detection [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2003, 24—50.
- [9] 王学静, 李会泉, 曹妍, 等. 离子液体对梧桐屑的溶解再生性能 [J]. *化工学报*, 2011, 62(10): 2951—2957.
- [9] Wang Xuejing, Li Huiquan, Cao Yan, et al. Dissolution and regeneration of Chinese parasol sawdust in ionic liquid 1-allyl-3-methylimidazolium chloride [J]. *CIESC Journal*, 2011, 62(10): 2951—2957.
- [10] Zhang Peng, Dong Shijia, Ma Huihui, et al. Fractionation of corn stover into cellulose, hemicellulose and lignin using a series of ionic liquids [J]. *Industrial Crops and Products*, 2015, 76: 688—696.
- [11] Wen Jialong, Sun Shaoni, Yuan Tongqi, et al. Fractionation of bamboo culms by autohydrolysis, organosolv delignification and extended delignification: Understanding the fundamental chemistry of the lignin during the integrated process [J]. *Bioresource Technology*, 2013, 150(13): 278—286.
- [12] He Mingxiong, Zhang Yan, Hu Qichun, et al. Comparison of different pretreatment methods for bamboo residues [J]. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 2011, 17(2): 232—236.
- [13] 潘丕克, 于海龙, 唐勇, 等. 组合预处理对橡实壳组成及酶解转化的影响 [J]. *林产化学与化工*, 2015, 35(2): 91—96.
- [13] Pan Pike, Yu Hailong, Tang Yong, et al. Effect of pretreatment on composition and enzymatic hydrolysis of acorn hull [J]. *Chemistry and Industry of Forest Products*, 2013, 35(2): 91—96.
- [14] Li C, Knierim B, Manisseri C, et al. Comparison of dilute acid and ionic liquid pretreatment of switchgrass: Biomass recalcitrance, delignification and enzymatic saccharification [J]. *Bioresource Technology*, 2010, 101(13): 4900—4906.
- [15] Ye Yueyuan, Zhang Yu, Fan Juan, et al. Selective production of 4-ethylphenolics from lignin via mild hydrogenolysis [J]. *Bioresource Technology*, 2012, 118(8): 648—651.

STUDY OF TRANSFORMATION OF BAMBOO BASED ON COMPONENT SEPARATION

Sun Moli, Fu Yan, Chang Jie

*(Key Laboratory of Heat Transfer Enhancement and Energy Conservation of Education Ministry,
School of Chemistry and Chemical Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)*

Abstract: The hydrothermal, ionic liquids-ethanol-water system and the coupling pretreatments were used to separate components of bamboo, the effects of different methods on compositions and enzymatic hydrolysis of bamboo were studied, and the mild hydrogenolysis research of lignin extracted from coupling pretreatment was carried out. The results indicate that hemicellulose is mostly removed after hydrothermal pretreatment, ionic liquids-ethanol-water system can remove large amounts of hemicellulose and lignin. After enzymatic hydrolysis 120 h, glucose yield of bamboo pretreated by hydrothermal, ionic liquids-ethanol-water system and the coupling method are 42.12%, 57.67% and 82.87%, respectively, which are 1.35, 1.85 and 2.66 times of that of untreated bamboo.

Keywords: bamboo; component separation; enzymatic hydrolysis; lignin; hydrogenolysis