

白腐菌协同热水预处理对毛白杨化学组分和酶水解效果的影响

王伟 李杏春 崔宝凯*

(北京林业大学 微生物研究所 北京 100083)

摘要: 【目的】增强真菌预处理的效率和降低热水预处理对反应条件的要求。【方法】综合利用白腐菌和热水预处理毛白杨, 分析此方法对毛白杨化学组分和酶水解效果的影响。

【结果】白腐菌 *Lenzites betulinus* C5617 协同热水处理, 损失率最高达 70.70%。纤维素在 2 个预处理阶段都有损失, 其中 *L. betulinus* C5617 达到 29.62%。木质素的降解主要集中在白腐菌预处理阶段, 其中 *L. betulinus* C5617 降解的酸不溶木素较多, 达到了 16.98%。综合预处理显著改善了毛白杨的酶水解效果。与只经热水预处理的样品相比较, *L. betulinus* C5617 和 *P. sanguineus* D9497 协同热水处理分别引起还原糖得率上升了 20.60% 和 12.23%。【结论】综合预处理降低了热水解对反应条件的要求, 节约了预处理成本。

关键词: 白腐菌, 热水预处理, 酶水解, 毛白杨

Influences of combination of biological pretreatment with liquid hot water pretreatment on chemical components and enzymatic hydrolysis of *Populus tomentosa*

WANG Wei LI Xing-Chun CUI Bao-Kai*

(Institute of Microbiology, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: [Objective] Enhance the efficiency of fungal pretreatment and lower the severity of

基金项目: 教育部新世纪优秀人才支持计划项目

*通讯作者: Tel: 86-10-62336309; 信箱: baokaicui@yahoo.com.cn

收稿日期: 2012-02-07; 接受日期: 2012-04-27

liquid hot water (LHW) pretreatment. **[Methods]** Combinations of white rot fungi and LHW were employed to pretreat *Populus tomentosa*, the influences of this combined pretreatments on the chemical components and enzymatic hydrolysis of *P. tomentosa* were studied. **[Results]** The highest hemicellulose removal of 70.70% was observed by combination of *Lenzites betulinus* C5617 with LHW pretreatment. Celluloses were degraded in both step of the combined pretreatments, combination of *L. betulinus* C5617 with LHW caused the highest cellulose loss of 29.62%. Lignin loss happened mostly in the step of fungal pretreatment, and *L. betulinus* C5617 caused a higher degradation (16.98%) of acid insoluble lignin among the two fungi. The combined pretreatments improved the enzymatic hydrolysis of *P. tomentosa* significantly. Compared with sole LHW treatment, combination of *L. betulinus* C5617 with LHW pretreatment resulted in an increase by 20.60%, and an increase (12.23%) of reducing sugar yield were obtained by combination of *P. sanguineus* D9497 with LHW treatment. **[Conclusion]** This combined pretreatment can lower the severity of LHW pretreatment and was cost-effective.

Keywords: White rot fungi, Liquid hot water pretreatment, Enzymatic hydrolysis, *Populus tomentosa*

近年来, 由于化石能源的日益短缺及其引起的环境问题, 如大气污染、温室效应等, 利用木质纤维素制备清洁能源生物乙醇已得到人们广泛的关注。制备生物乙醇包括 3 个步骤: (1) 通过预处理降解木质素和打破纤维素的结晶结构; (2) 利用商业酶水解纤维素为葡萄糖; (3) 发酵葡萄糖为乙醇^[1]。在上述过程中, 预处理占整个生产流程 1/3 的成本, 是生物质转化乙醇至为关键的一步^[2]。典型的物理化学预处理方式如蒸汽爆破、有机溶剂、硫酸和热碱等对反应设备要求严格且需耗费大量能源^[1,3-4], 并且产生了对后续酶水解有抑制作用的物质, 造成成本高昂且污染环境。

生物预处理作为一种环境友好和低成本的预处理方式, 近年来越发引起人们的关注^[5-9], 利用不同的白腐菌预处理生物质已有很多报道。4 株白腐菌预处理白松和鹅掌楸 30 d, 酶水解后葡萄糖得率最高为 450 mg 葡萄糖/g 样品^[6]。Yu 等^[10]研究了 *Echinodontium taxodii* 预处理柳树和冷杉

120 d 后对酶水解的影响, 发现柳树和冷杉的糖化率分别提高了 4.7 倍和 6.3 倍。利用 *Ceriporiopsis subvermispora* 预处理玉米秸秆来增强酶水解效果也得到研究, 玉米秸秆被真菌处理 31 d 后葡萄糖得率达到 66.61%^[11]。我国木材腐朽真菌资源丰富, 仅东北地区就发现 504 种^[12], 另外我国报道的 605 种多孔菌中有 500 多种均为白色腐朽菌^[13], 因此利用白色腐朽真菌生物预处理在转化生物质为乙醇方面存在巨大的潜力。但是, 生物预处理也存在着效率低, 碳水化合物的大量损失及作用周期长等缺陷, 必须结合新的措施来克服上述缺陷。

热水预处理是通过高温高压来预处理木质纤维素, 能水解半纤维素和破坏木质素及纤维素的结构, 因此能增加纤维素酶水解的表面积^[14]。热水水解的优点包括: 防止腐蚀问题的发生, 没有沉淀产生, 操作成本低和纤维素损失极少^[15]。

本文选取阔叶树上 2 种常见的白色腐朽菌桦褶孔菌 *Lenzites betulina* (L.) Fr. 和血红密孔菌

Pycnoporus sanguineus (L.) Murrill^[16-18]作为预处理菌株。为了增强真菌预处理的效率和降低热水预处理反应条件的严格性,本文采取了一种两步预处理方法:毛白杨粉末首先经过白腐菌 *Lenzites betulinus* C5617 和 *Pycnoporus sanguineus* D9497 预处理 30 d,再经热水作用 1 h。通过分析木材化学组分的变化和酶水解情况来研究该综合预处理方法的预处理效果。

1 材料与方法

1.1 菌种及木材来源

2 株白腐菌菌株 *Lenzites betulinus* C5617 和 *Pycnoporus sanguineus* 分别采自辽宁省和海南省,菌株现保藏于北京林业大学微生物研究所。8 年生的毛白杨购自北京郊区。

1.2 白腐菌预处理毛白杨

新鲜的毛白杨木片(约 2 cm×1 cm×0.3 cm)风干后取出 5 g 在水中浸泡 5 min,水分流干后在 1×10⁵ Pa 灭菌 20 min 后备用。向装有 2% 麦芽琼脂培养基的三角瓶(250 mL)中接入所选菌种的一个直径为 1 cm 的菌饼,待菌丝生长铺满表面后,加入 5 g 的灭菌木片,均匀铺满,28 °C 静置培养 30 d。每个菌种 2 个重复,未接种的两组木片作为空白对照。30 d 后取出样品,洗去木片表面的菌丝,105 °C 风干至恒重称量。木片粉碎过 1 mm 筛,以备化学组分的测定和酶水解用。

1.3 热水预处理(LHW)

热水反应釜由不锈钢铸造,总容积为 50 mL,购自浙江鑫盛机械有限公司。反应釜中填入 2.5 g 的原料或经白腐菌预处理过的样品,再加入 25 mL 去离子水以达到 10% 的固液比,然后将反应釜放进烘箱中,140 °C 的条件下反应 1 h 后,取出反应釜,在室温下冷却至常温。反应后的水不溶残渣用去离子水清洗过滤,直至呈中性,然后在 70 °C 烘 12 h 以备后续测定使用。

1.4 木材化学组分的测定

酸溶木素和酸不溶木素的测定依据美国可再生能源实验室“测定生物质中的多糖和木质素”中所描述的步骤^[19]。95% 乙醇抽提过的 0.3 g 木粉中加入 72% 硫酸 3 mL,30 °C 水浴 1 h,然后加入 84 mL 去离子水将上述物质稀释到 4% 的浓度。放进灭菌锅 121 °C 加热 1 h 后,室温下静置冷却,待酸不溶木素沉积下来,收集 10 mL 滤液以备酸溶木素的测定。用预先恒重过的 G3 玻璃滤器过滤上述酸不溶木素,用热去离子水洗涤残渣,直至洗液加数滴 10% 氯化钡溶液不再混浊。将滤器及残渣置入烘箱,在 105 °C 下烘至恒重。称重后减去 G3 玻璃滤器的重量即为酸不溶木素的重量。上述滤液在 240 nm 处测定吸光值并以 25 L/(g·cm) 作为吸光系数求得酸溶木素的含量。

纤维素和半纤维素的含量测定参照 Van Soest^[20],半纤维素的含量为中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维的差值,纤维素的含量则为酸性洗涤纤维和酸性洗涤木素的差值。

失重率(%)=(原样品重-降解后样品重)/原样品重×100%

“X”物质的降解率(%)=[(处理前“X”物质的含量-处理后“X”物质的含量)×(1-质量损失率)]/处理前“X”物质的含量×100%

1.5 纤维素酶水解毛白杨

0.4 g 预处理后的木粉,20 mg 纤维素酶(1.47 U/mg,购自 Sigma)与 20 mL 乙酸钠缓冲液(50 mmol/L, pH 4.8)混合后,再滴加 40 μL 的抗生素[以 1% (W/V)的比例溶于 70% 的乙醇]和 20 μL 的放线菌酮溶液[1% (W/V)的比例溶于蒸馏水]。上述混合物放置在 37 °C、150 r/min 的摇床中反应,分别在 6、12、24、48、72、96 h 取出样品,立即加热到 100 °C 使酶失活,待样品冷却后,以 8 000 r/min 的转速离心 10 min,提取上清液以 DNS 试剂(3,5-二硝基水杨酸)分析还原糖的含量^[21]。

还原糖得率(%)=提取液中还原糖量/样品重量×100%

2 结果与讨论

2.1 预处理对毛白杨化学组分的影响

失重率能初步指示预处理的效率。毛白杨预处理后的失重率表明(图 1, 单独白腐菌或单独热水预处理都能引起毛白杨重量损失, 但真菌协同热水预处理引起的失重率普遍高于单独预处理。其中, 白腐菌 *L. betulinus* C5617 处理后的毛白杨再经热水预处理, 失重率高达 25.32%。比较 *L. betulinus* C5617 和 *P. sanguineus* D9497 可发现, 在热水处理前后, *L. betulinus* C5617 处理后样品的失重率始终高于 *P. sanguineus* D9497 预处理的样品, 这表明 *L. betulinus* C5617 的降解木材的能力高于 *P. sanguineus* D9497。

白腐菌和热水预处理对毛白杨的半纤维素含量影响都很显著($P<0.05$, 图 2)。在第一步生物预处理阶段, 2 株菌中 *P. sanguineus* D9497 降解半纤维素能力较强, 损失率达到 38.04% (损失率均为结合失重率计算得到, 下同)。经第二步热水预处

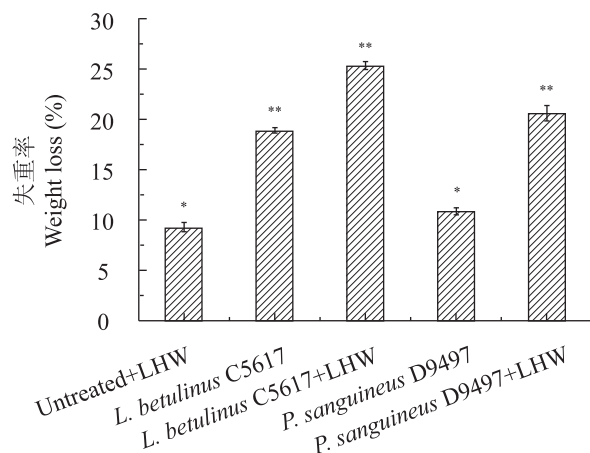


图 1 各种预处理后毛白杨的失重率

Fig. 1 The weight loss of *P. tomentosa* after various pretreatments

注: *: $P<0.05$; **: $P<0.01$, 与未处理组相比.

Note: *: $P<0.05$; **: $P<0.01$ vs. untreated group.

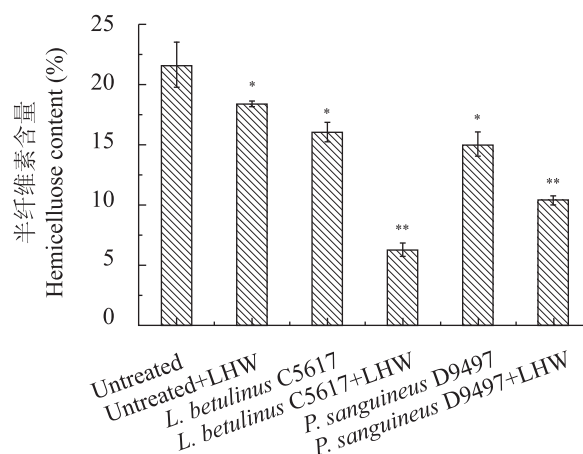


图 2 各种预处理后毛白杨中半纤维素的含量

Fig. 2 The hemicellulose content of *P. tomentosa* after various pretreatments

注: *: $P<0.05$; **: $P<0.01$, 与未处理组相比.

Note: *: $P<0.05$; **: $P<0.01$ vs. untreated group.

理后, 与只经热水处理后的对照相比, 白腐菌处理后的毛白杨经热水处理后, 半纤维素损失更为显著($P<0.01$)。毛白杨经 *L. betulinus* C5617 和 *P. sanguineus* D9497 结合热水处理后, 半纤维素损失率分别高达 70.70% 和 45.23%。白腐菌既降解木质素, 又能改变木质纤维素的结构特征^[22-23], 而热水预处理能将生物质中的大部分半纤维素水解为单糖^[14,24], 所以毛白杨经综合预处理后, 其中的半纤维素含量极少。

与半纤维素相比较, 纤维素在预处理前后变化并不显著($P>0.05$), 且在 2 个预处理阶段皆有损失(图 3)。*L. betulinus* C5617 和 *P. sanguineus* D9497 预处理毛白杨 30 d 后, 纤维素损失率分别为 27.61% 和 17.37%。这是由于真菌预处理过程中未添加培养基, 所以真菌的生长需要靠分解一部分纤维素来获取碳源。热水预处理后, 只经热水处理的样品纤维素损失率为 19.62%, 而 *L. betulinus* C5617 和 *P. sanguineus* D9497 处理后的毛白杨再热水处理, 纤维素损失率分别达到 29.62% 和 26.36%, 可见毛白杨经白腐菌预处理后, 其中的纤维素同半纤维素相似, 也更容易被

热水水解,只是水解程度非常微弱。

木质素在自然状态下极其难降解,阻碍着木质纤维素资源的利用,而白腐菌是自然界中能降解木质素的一类微生物^[25-26]。在本试验中,毛白杨中的木质素只在白腐菌预处理阶段得到了降解,在后续的热水处理阶段几乎没有发生降解(图4)。2种白腐菌中, *L. betulinus* C5617 降解的酸不溶木素较多,达到了16.98%。值得注意的是,毛白杨经白腐菌 *L. betulinus* C5617 和 *P. sanguineus* D9497 处理后,酸溶木素含量分别上升了23.86%和20.95%,这说明生物预处理改变了木质素的结构,例如引起木质素分子链的断裂和木质素的解聚^[22,27]。这种现象同时说明木质素在被深度降解之前,其结构已经发生了改变, Yu 等^[28]在研究 *Irpex lacteus* 预处理玉米秸秆时同样发现了这种情况。

2.2 预处理对毛白杨酶水解效果的影响

预处理的目的是脱除木质纤维素中的木质素和半纤维素,降低纤维素的结晶度,增加生物质的孔隙度。预处理必须满足下列要求:(1)提升后续酶水解的效率;(2)避免碳水化合物的降解或

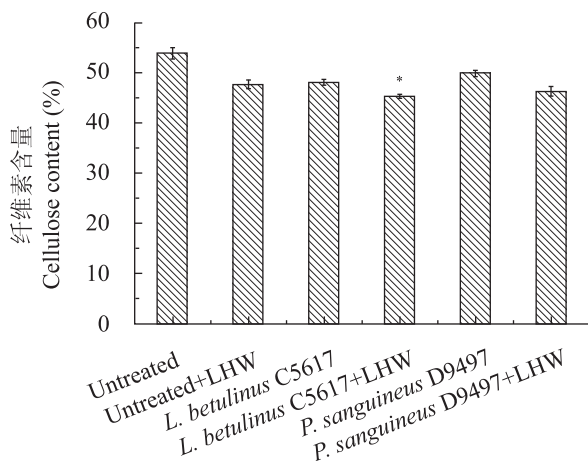


图3 各种预处理后毛白杨中纤维素的含量

Fig. 3 The cellulose content of *P. tomentosa* after various pretreatments

注: *: $P < 0.05$; **: $P < 0.01$, 与未处理组相比。

Note: *: $P < 0.05$; **: $P < 0.01$ vs. untreated group.

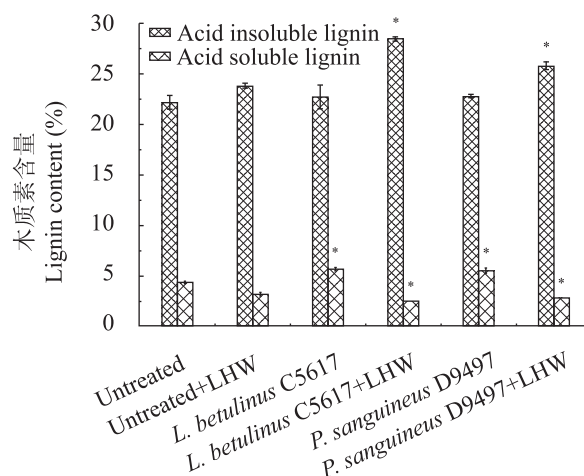


图4 各种预处理后毛白杨中酸不溶木质素和酸溶木质素的含量

Fig. 4 The acid insoluble lignin content and acid soluble lignin content of *P. tomentosa* after various pretreatments

注: *: $P < 0.05$; **: $P < 0.01$, 与未处理组相比。

Note: *: $P < 0.05$; **: $P < 0.01$ vs. untreated group.

损失;(3)避免对糖化发酵有抑制作用的副产物产生;(4)成本低廉^[1]。如图5所示,毛白杨只经白腐菌作用,酶水解后的还原糖得率并不高,与未经任何处理的对照相比较,差异并不显著($P > 0.05$)。这是由于白腐菌作用周期较短,对木质素和半纤维素的降解较少,所以对后续酶水解的效果影响也较弱。

在第二步热水预处理后,毛白杨的还原糖得率有了显著的提高。与未经任何处理的对照相比较, *L. betulinus* C5617 和 *P. sanguineus* D9497 协同热水处理后的样品还原糖得率分别上升了60.38%和56.20%。另外,白腐菌协同热水预处理的样品酶水解的效果不仅远远高于只经白腐菌预处理的样品,也高于只经热水处理后的样品。与只经热水处理的样品比较, *L. betulinus* C5617 和 *P. sanguineus* D9497 协同热水处理后的样品的还原糖得率分别提高了20.60%和12.23%。综上所述,综合预处理对酶水解的影响非常显著($P < 0.01$)。

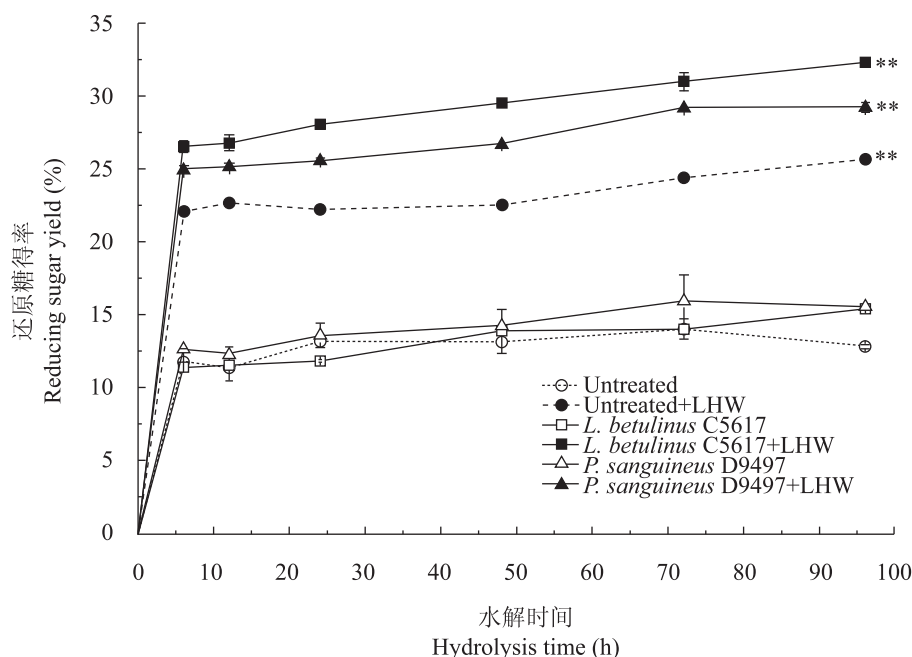


图5 各种预处理后的毛白杨经纤维素酶水解后的还原糖得率

Fig. 5 The reducing sugar yield of enzymatic hydrolysis of *P. tomentosa* after various pretreatments

注: *: $P < 0.05$; **: $P < 0.01$, 与未处理组相比.

Note: *: $P < 0.05$; **: $P < 0.01$ vs. untreated group.

结合上述半纤维素和木质素含量的变化可发现, 菌株 *L. betulinus* C5617 协同热水预处理后样品的半纤维素和木质素降解量最大, 其次是 *P. sanguineus* D9497 协同热水处理后的样品和只经热水处理的样品, 而还原糖的得率也呈现着同样的大小顺序, 这种现象说明半纤维素和木质素的降解或解聚有效地降低了它们对纤维素的束缚, 增强了纤维素的可及面积和渗透性。另外, 木质素的减少可以降低纤维素酶在水解过程中的不可逆吸附, 提升了酶对纤维素的水解效率^[1,10,29-30]。

以往的研究表明, 热水预处理对生物质酶水解发生显著影响时温度多在 160 °C–220 °C 之间^[31-34]。Xiao 等^[34]在研究热水解对多枝怪柳酶水解的影响时发现, 热水处理在温度 140 °C 以下时, 对酶水解几乎没有影响, 当温度在 160 °C 以上时, 糖得率才随着温度的增加而增加。本试验中, 毛白杨先经白腐菌 *L. betulinus* C5617 和

P. sanguineus D9497 处理, 再经 140 °C 的热水处理 1 h 后, 酶水解的糖得率与 Xiao 等^[34]试验中 160 °C 反应 3 h 后的数据很相近, 这说明白腐菌协同热水预处理这种综合方法能有效地降低反应所需的温度和时间, 节省了预处理成本。

3 结论

利用白腐菌结合热水预处理毛白杨, 能大量脱除毛白杨中的半纤维素和木质素, 改善了毛白杨的酶水解效果, 使糖得率有了显著的提升, 说明这种综合预处理法能降低热水解对反应条件的要求, 节约预处理成本, 在生产生物乙醇方面有较大的应用潜力。

参考文献

- [1] Sun Y, Cheng JY. Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review[J]. Bioresource Technology, 2002, 83(1): 1–11.

- [2] NREL (National Renewable Energy Laboratory). Technical report: determining the cost of producing ethanol from corn starch and lignocellulosic feedstocks[R]. NREL/TP-580-28893, 2000.
- [3] Silverstein RA, Chen Y, Sharma-Shivappa RR, et al. A comparison of chemical pretreatment methods for improving saccharification of cotton stalks[J]. Bioresource Technology, 2007, 98(16): 3000–3011.
- [4] Datar R, Huang J, Maness PC, et al. Hydrogen production from the fermentation of corn stover biomass pretreated with a steam-explosion process[J]. International Journal of Hydrogen Energy, 2007, 32(8): 932–939.
- [5] Keller FA, Hamilton JE, Nguyen QA. Microbial pretreatment of biomass Potential for reducing severity of thermochemical biomass pretreatment[J]. Applied Biochemistry and Biotechnology, 2003, 105(1/3): 27–41.
- [6] Hwang SS, Lee SJ, Kim HK, et al. Biodegradation and saccharification of wood chips of *Pinus strobus* and *Liriodendron tulipifera* by white rot fungi[J]. Journal of Microbiology and Biotechnology, 2008, 18(11): 1819–1826.
- [7] Zhang XY, Xu CY, Wang HX. Pretreatment of bamboo residues with *Coriolus versicolor* for enzymatic hydrolysis[J]. Journal of Bioscience and Bioengineering, 2007, 104(2): 149–151.
- [8] Shi J, Chinn MS, Sharma-shivappa RR. Microbial pretreatment of cotton stalks by solid state cultivation of *Phanerochaete chrysosporium*[J]. Bioresource Technology, 2008, 99(14): 6556–6564.
- [9] Shi J, Sharma-shivappa RR, Chinn M, et al. Effect of microbial pretreatment on enzymatic hydrolysis and fermentation of cotton stalks for ethanol production[J]. Biomass and Bioenergy, 2009, 33(1): 88–96.
- [10] Yu HB, Guo GN, Zhang XY, et al. The effect of biological pretreatment with the selective white-rot fungus *Echinodontium taxodii* on enzymatic hydrolysis of softwoods and hardwoods[J]. Bioresource Technology, 2009, 100(21): 5170–5175.
- [11] Wan CX, Li YB. Microbial pretreatment of corn stover with *Ceriporiopsis subvermispora* for enzymatic hydrolysis and ethanol production[J]. Bioresource Technology, 2010, 101(16): 6398–6403.
- [12] 戴玉成. 中国多孔菌名录[J]. 菌物学报, 2009, 28(3): 315–327.
- [13] Dai YC. Species diversity of wood-decaying fungi in Northeast China[J]. Mycosystema, 2010, 29(6): 801–818.
- [14] Mosier N, Wyman C, Dale B, et al. Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass[J]. Bioresource Technology, 2005, 96(6): 673–686.
- [15] Liu SJ. Woody biomass: niche position as a source of sustainable renewable chemicals and energy and kinetics of hot-water extraction/hydrolysis[J]. Biotechnology Advances, 2010, 28(5): 563–582.
- [16] Dai YC, Yuan HS, He W, et al. Polypores from Beijing area, northern China[J]. Mycosystema, 2006, 25(3): 368–373.
- [17] Cui BK, Wei YL, Dai YC. Polypores from Zijin Mountain, Jiangsu Province[J]. Mycosystema, 2006, 25(1): 9–14.
- [18] 魏玉莲, 戴玉成, 袁海生, 等. 长白山阔叶红松林样地槭属树木木生真菌的群落组成和分布[J]. 生态学报, 2010, 30(23): 6348–6354.
- [19] Sluiter AD, Hames BR, Ruiz RO, et al. Laboratory Analytical Procedure (LAP): Determination of structural carbohydrates and lignin in biomass[R]. Technical Report: NREL/TP-510-42618, 2008. National Renewable Energy Laboratory, Golden, Co, USA.
- [20] Van Soest PJ. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. II. A rapid method for the determination of fiber and lignin[J]. Journal of Association of Official Analytical Chemists, 1963, 46: 829–835.
- [21] Behera BK, Arora M, Sharma DK. Scanning electron microscopic (SEM) studies on structural architecture of lignocellulosic materials of *Calotropis procera* during its processing for saccharification[J]. Bioresource Technology, 1996, 58(3): 241–245.
- [22] Hakala TK, Maijala P, Konn J, et al. Evaluation of novel wood-rotting polypores and corticioid fungi for the decay and biopulping of Norway spruce

- (*Picea abies*) wood[J]. *Enzyme and Microbial Technology*, 2004, 34(3/4): 255–263.
- [23] Xu CY, Ma FY, Zhang XY, et al. Biological pretreatment of corn stover by *Irpex lacteus* for enzymatic hydrolysis[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2010, 58(20): 10893–10898.
- [24] Kumar P, Barrett DM, Delwiche MJ, et al. Methods for pretreatment of lignocellulosic biomass for efficient hydrolysis and biofuel production[J]. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 2009, 48(8): 3713–3729.
- [25] Kirk TK, Farrell RL. Enzymatic “combustion”: the microbial degradation of lignin[J]. *Annual Review of Microbiology*, 1987, 41(1): 465–501.
- [26] Hatakka A. Biodegradation of lignin[A]// Steinbüchel A, Hofrichter M. *Biopolymers*, vol. 1: Lignin, humic substances and coal [M]. Weinheim: Wiley-VCH, 2001: 129–180.
- [27] Xu CY, Ma FY, Zhang XY. Lignocellulose degradation and enzyme production by *Irpex lacteus* CD2 during solid-state fermentation of corn stover[J]. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 2009, 108(5): 372–375.
- [28] Yu HB, Du WQ, Zhang J, et al. Fungal treatment of cornstalks enhances the delignification and xylan loss during mild alkaline pretreatment and enzymatic digestibility of glucan[J]. *Bioresource Technology*, 2010, 101(17): 6728–6734.
- [29] Mooney CA, Mansfield SD, Touhy MG, et al. The effect of initial pore volume and lignin content on the enzymatic hydrolysis of softwoods[J]. *Bioresource Technology*, 1998, 64(2): 113–119.
- [30] Pan XJ, Xie D, Gilkes N, et al. Strategies to enhance the enzymatic hydrolysis of pretreated softwood with high residual lignin content[J]. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 2005, 124(1/3): 1069–1079.
- [31] Mosier N, Hendrickson R, Ho N, et al. Optimization of pH controlled liquid hot water pretreatment of corn stover[J]. *Bioresource Technology*, 2005, 96(18): 1986–1993.
- [32] Liu CG, Wyman CE. Partial flow of compressed-hot water through corn stover to enhance hemicellulose sugar recovery and enzymatic digestibility of cellulose[J]. *Bioresource Technology*, 2005, 96(18): 1978–1985.
- [33] Pérez JA, Ballesteros I, Ballesteros M, et al. Optimizing Liquid Hot Water pretreatment conditions to enhance sugar recovery from wheat straw for fuel-ethanol production[J]. *Fuel*, 2008, 87(17/18): 3640–3647.
- [34] Xiao LP, Sun ZJ, Shi ZJ, et al. Impact of hot compressed water pretreatment on the structural changes of woody biomass for bioethanol production[J]. *Bioresources*, 2011, 6(2): 1576–1598.

编辑部公告

《微生物学通报》英文刊名

《微生物学通报》之前使用的英文刊名“Microbiology”因在国际上有重名,造成了本刊在被国内外作者引用以及国外数据库收录时英文刊名的混乱,这大大影响了本刊在国际上的传播,也不利于对我刊引用数据的统计。经本届编委会讨论,以及主办单位批准,本刊英文刊名自 2010 年起变更为“Microbiology China”,请各位作者、读者和数据库引用时注意使用。