

农作物秸秆特性及其重组材性能

宋孝周, 郭康权^{*}, 冯德君, 刘 钊

(西北农林科技大学机电学院, 杨凌 712100)

摘 要: 该文通过纤维离析、显微镜观察及化学成分测定研究了棉秆、烟秆、大豆秸秆及辣椒秆的原料特性, 并利用脲醛胶压制了 4 种秸秆的重组材, 结果表明: 4 种秸秆均由韧皮部、木质部和髓心组成, 木质部是用于重组材生产的主要部分; 4 种秸秆的主要化学成分与木材相似, 但 4 种秸秆的灰分、抽出物质量分数较高; 利用脲醛胶可以压制秸秆重组材, 但其工艺参数需要进一步探索。

关键词: 农作物秸秆, 纤维, 原料特性, 秸秆重组材

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2009.07.033

中图分类号: S210.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2009)-7-0180-05

宋孝周, 郭康权, 冯德君, 等. 农作物秸秆特性及其重组材性能[J]. 农业工程学报, 2009, 25(7): 180—184.

Song Xiaozhou, Guo Kangquan, Feng Dejun, et al. Characteristics of crop stalks and performance of their scrimber[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(7): 180—184. (in Chinese with English abstract)

0 引 言

以农作物秸秆为原料, 发展新型农作物秸秆板材工业, 对于合理解决秸秆资源利用、提高农民收入、节约木材资源, 保护生态环境具有重要意义^[1-2]。

原料特性在很大程度上决定了产品的物理力学性能, 相对木材而言, 国内外对秸秆材料的研究还不够。秸秆与木材虽然都属于植物纤维, 但它们的生长过程差异较大, 纤维形态、化学组成及其相应的表面性质都有差别。因此, 对人造板生产中产品工艺及性能的影响也不同。目前, 秸秆人造板的研究主要集中在秸秆刨花板和纤维板方面^[3-5], 原料的加工是将秸秆破碎或纤维分离后制成板材, 工序复杂, 长度方向纤维切断过多, 没有充分利用秸秆较高的纵向强度性能, 而且增加了能源消耗。实际上, 只要将原料解离到能重新组合为新产品所要求的适当程度即可, 即不打乱纤维的排列方向, 保留材料的基本特性, 只是通过碾压将原料梳解成横向不断裂、纵向交错相连的束状材料, 经干燥、施胶、组坯、热压成型、后期处理后重新组合成新的结构产品, 则可以简化原料的处理工序, 充分利用原料本身结构及强度性能, 就大大提高人造板材的强度, 这种创新思路已经应用在利用小径材或竹材生产重组木或重组竹上, 但对利用农作物秸秆生产秸秆重组材则鲜有报道^[6-11]。

本文针对西部地区产量较高的 4 种秸秆: 棉秆、豆秆、烟秆和辣椒秆, 研究其组织结构、纤维形态及化学组成等原料特性, 并压制秸秆重组材, 以期为高效利用

秸秆资源, 开拓新的秸秆人造板品种提供理论依据。

1 材料与设备

1.1 试验材料

棉秆、烟秆、大豆秸秆及辣椒秆均取自西北农林科技大学试验田, 取样时已存放半年以上, 秸秆的含水率为 12.35%。

用于纤维离析及化学成分测定的材料: 蒸馏水、氯酸钾、硝酸、酒精、二甲苯、番红溶液、滤纸、甲基橙指示剂、乙醚、溴化钠、苯醇混合液、盐酸、乙酸、硫酸、氢氧化钠、醋酸苯胺、氯化钡、碘化钾、氯化钠、无水乙醇、丙酮、硫代硫酸钠等。

用于压制重组材的原料: 脲醛胶、氯化铵等。

1.2 仪器及设备

木材切片机、光学显微镜(带目镜测微尺)、偏振光显微照相机、手持放大镜; 电子天平、电子分析天平(1/10 000)、干燥器、电热恒温烘箱、水浴锅、油浴锅、电炉、鼓风式干燥箱、植物原料粉碎机、40 目和 60 目标标准筛、索氏抽提器等; QD 型液压热压机、秸秆梳解机、烘箱、万能力学试验机等。

2 试验方法

2.1 秸秆特性研究

在 4 种原料堆中分别随机抽取 10 根主茎顺直且粗细均匀, 主根无分叉的秸秆, 用手锯将秸秆从地表分界处截开, 从地表向下在根部取试样 1, 从地表向上取试样 2, 试样 3 紧挨试样 2 截取, 辣椒秆和豆秆在地表上靠近分叉部位截取试样 4, 棉秆和烟秆在地表上 400 mm 和 800 mm 处截取试样 4 和 5, 试样长度均为 40 mm。按照木材切片及纤维离析的方法制作秸秆切片并对秸秆不同部位进行纤维离析, 在生物光学显微镜下观察组织结构及测量秸秆纤维尺寸, 结果取平均值; 依据国家标准

收稿日期: 2008-11-26 修订日期: 2009-04-12

基金项目: 国际合作中日报点大学交流项目(08080704)

作者简介: 宋孝周(1974—), 男, 博士, 研究方向为木质资源利用。杨凌西北农林科技大学机电学院, 712100。Email: xzhsong@163.com

*通信作者: 郭康权(1955—), 男, 教授, 博士生导师, 研究方向为生物材料。杨凌西北农林科技大学机电学院, 712100。

Email: jdqkq@nwsuaf.edu.cn

GB/T2677—1993 对 4 种秸秆化学成分进行检测。

2.2 秸秆重组材的制造方法

工艺流程：秸秆→截断→软化处理→梳解→干燥→施胶→组坯→预压→热压→裁切^[12]。

将秸秆切割成350 mm长的小段进行软化处理，随后梳解成横向不断裂，纵向交错相连的网状秸秆束，干燥后秸秆束的含水率为6%左右，装入塑料袋中密封待用。

通过多次预试验确定的工艺参数：设计密度0.7 g/cm³；施胶量12%、固化剂为树脂固体含量的1.5%，热压温度150℃，热压时间14 min，最大单位压力4 MPa，制成350 mm×350 mm×10 mm的单层定向重组板材。板

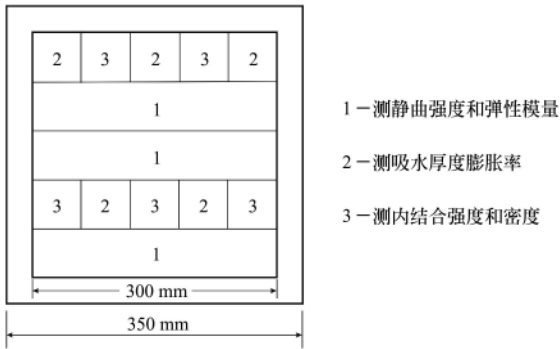
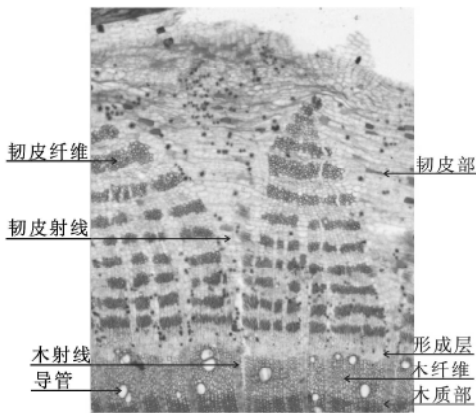
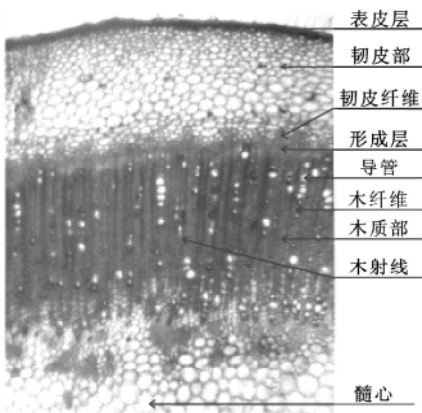


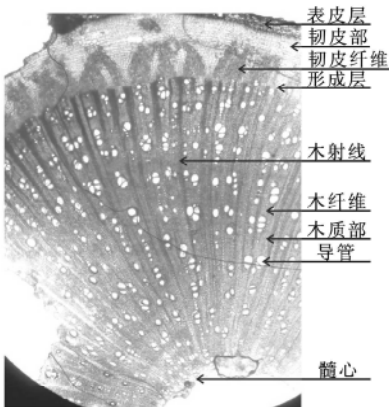
图 1 试件取样图
Fig.1 Sampling drawing



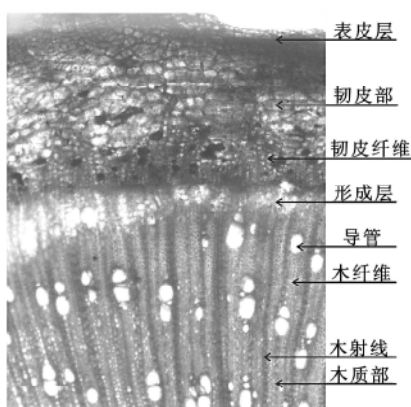
a. 棉秆横切面



b. 烟秆横切面



c. 豆秆横切面



d. 辣椒秆横切面

图 2 4 种秸秆的横切面
Fig.2 Cross section of four crop stalks

材性能检测参照国家标准GB/T4897.2—2003在干燥状态下使用的普通用板要求进行，由于板材幅面较小，取样时兼顾满足规定的试件尺寸和保证足够的试件重复数，取样见图1，试验重复4次，结果取平均值。

3 结果与分析

3.1 秸秆组织结构

由图2可知：棉秆、烟秆、豆秆和辣椒秆结构比较类似，均由韧皮部、木质部和髓心组成。韧皮部是由形成层向外分生所形成，有韧皮纤维、韧皮射线、筛管、筛胞和薄壁细胞等，不同秸秆韧皮部细胞的数量和排列有差异，韧皮部韧性较大，不易切断，梳解拌胶后易结团，影响到板坯的铺装；木质部是由木纤维细胞、导管、木射线和薄壁细胞等组成，木纤维细胞排列整齐，木质部是秸秆用于制造重组材的主体部分。同样，在木质部中，不同秸秆细胞的数量和排列也有差异；髓心部分是由薄壁细胞组成，排列疏松，有明显细胞间隙，有较大的可塑性，髓心在根部分布较少，由根向上到枝条，所占比例逐渐增加。髓心干燥分离后易形成粉末，遇水则能成倍的蓄积水分，这对棉秆重组材的吸水性有很大的影响，因此在备料时最好除去。经排水法测得棉秆、烟秆（去髓后）、豆秆和辣椒秆平均的基本密度分别为：0.332、0.306、0.298和0.36 g/cm³。

3.2 秸秆纤维形态

由表 1 和 2 可知：4 种秸秆的韧皮纤维均比各自的木质部纤维长。对比 4 种秸秆的木质部纤维可发现：烟秆木质部纤维最长，平均 1 160 μm ，其次是棉秆，平均 1 023 μm ，辣椒秆的最短；纤维长宽比是纤维长度平均值与纤维宽度平均值之比，长宽比大，纤维之间的结合能力好，有利于提高板材的强度，棉秆木质部纤维的长宽比最大，平均为 51.80，其次是辣椒秆，平均为 40.18，豆秆的最小，平均为 38.01；细胞壁薄而腔大的纤维，有柔软性，外力作用时易溃陷、变形、压扁、增大纤维的表面积，在热压时有助于纤维之间的结合，4 种秸秆木质部纤维的壁腔比，豆秆最大，平均为 0.62，其次是棉秆，平均为 0.51，烟秆的最小，平均为 0.32。

表 1 不同秸秆的韧皮纤维特性

| Table 1 Fiber characteristics of phloem of different crop stalks | | | | | | |
|--|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------|------|
| 种类 | 纤维长度/ μm | 纤维宽度/ μm | 纤维内径/ μm | 纤维壁厚/ μm | 长宽比 | 壁腔比 |
| 棉秆 | 1 655 | 17.13 | 8.75 | 4.32 | 96.61 | 0.99 |
| 烟秆 | 5 947 | 44.38 | 24.15 | 4.14 | 134.00 | 0.34 |
| 豆秆 | 1 729 | 20.69 | 9.94 | 4.68 | 83.57 | 0.94 |
| 辣椒秆 | 801 | 21.07 | 15.16 | 2.96 | 38.02 | 0.39 |

表 2 不同秸秆木质部纤维及木材纤维特性对比

| Table 2 Comparison of fiber characteristics of xylem among crop stalks and timber | | | | | | |
|---|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------|------|
| 种类 | 纤维长度/ μm | 纤维宽度/ μm | 纤维内径/ μm | 纤维壁厚/ μm | 长宽比 | 壁腔比 |
| 棉秆 | 1023 | 19.75 | 13.05 | 3.34 | 51.80 | 0.51 |
| 烟秆 | 1160 | 28.93 | 21.84 | 3.54 | 40.10 | 0.32 |
| 豆秆 | 748 | 19.68 | 12.12 | 3.78 | 38.01 | 0.62 |
| 辣椒秆 | 704 | 17.52 | 12.28 | 2.62 | 40.18 | 0.43 |
| 部分阔叶材 | 1 000~2 000 | 10~50 | — | 2.42~5.30 | 40~100 | — |
| 部分针叶材 | 3 000~5 000 | 20~50 | — | 2.20~12.50 | 75~200 | — |

注：木材数据来自参考文献[13]。

由表 2 还可知道：与木材相比，4 种秸秆纤维形态的各项指标与部分阔叶材接近，低于部分针叶材。

3.3 秸秆化学成分

由表 3 可知：4 种秸秆的主要化学成分与木材相似，有纤维素、半纤维素和木素，因而可以作为木材的替代原料。但 4 种秸秆的灰分、抽出物质量分数较高，对制造重组材有不利影响。

表 3 4 种秸秆与木材原料化学成分对比

| Table 3 Comparison of chemical components among four crop stalks and timber | | | | | | | |
|---|------|-------|-------|-----------|-------|-------|-------|
| 原料 | 灰分 | 冷水抽出物 | 热水抽出物 | 1%NaOH抽出物 | 纤维素 | 聚戊糖 | 木素 |
| 棉秆 | 3.09 | 4.38 | 7.64 | 26.85 | 43.18 | 19.01 | 21.05 |
| 烟秆 | 4.95 | 10.26 | 14.72 | 37.89 | 38.96 | 18.28 | 19.57 |
| 豆秆 | 2.27 | 6.42 | 9.43 | 29.81 | 42.78 | 23.24 | 20.06 |
| 辣椒秆 | 4.08 | 5.27 | 8.43 | 26.53 | 43.21 | 23.07 | 19.65 |
| 马尾松 | 0.33 | 2.21 | 6.77 | 22.87 | 51.83 | 8.54 | 28.42 |
| 杨木 | 0.32 | 1.38 | 3.46 | 15.61 | 43.24 | 22.61 | 17.10 |

注：木材数据来自参考文献[14]。

将 4 种秸秆的化学成分进行对比可知：豆秆的灰分质量分数最低，棉秆次之，烟秆最高；棉秆的冷、热水抽出物质量分数最低；辣椒秆的 1%NaOH 抽出物质量分数最低，棉秆次之；辣椒秆的纤维素质量分数最高，棉秆次之；烟秆的聚戊糖质量分数最低，棉秆的木素质量分数最高。灰分的主要成分是二氧化硅，其质量分数高对胶黏剂的结合力有影响。1%NaOH 溶液抽出物含量高说明秸秆中低、中级碳水化合物含量较高，不仅造成原料在贮存中易腐烂霉变，而且在热压过程中易分解产生淀粉胶，容易粘板和导致板材抗水性差；聚戊糖是半纤维素的主要成分，高温下易分解，其含量高会导致产品的吸湿率较高；纤维素含量低会影响产品的强度性能；木素是天然的胶黏物质，其含量高对热压成板非常有利。

3.4 秸秆重组材性能

从表 4 中可以看到：利用脲醛胶压制 4 种秸秆重组材，其静曲强度都远远超过国标要求；除烟秆重组材外，其他 3 种秸秆重组材的内结合强度也都超过国标要求。

表 4 4 种秸秆脲醛胶重组材的性能对照

| Table 4 Properties comparison among four kinds of urea-formaldehyde crop stalk scrimber | | | | |
|---|-------------|----------|-------------|---------------|
| 名 称 | 静曲强度/MPa | 弹性模量/MPa | 内结合强度/MPa | 2 h 吸水厚度膨胀率/% |
| 棉秆重组材 | 57.36 | 7 536.14 | 0.58 | 13.52 |
| 烟秆重组材 | 30.48 | 5 817.08 | 0.21 | 17.06 |
| 豆秆重组材 | 44.87 | 6 349.03 | 0.52 | 13.59 |
| 辣椒秆重组材 | 27.66 | 6 031.92 | 0.50 | 8.58 |
| 6~13 mm 厚刨花板 | ≥ 12.5 | - | ≥ 0.28 | ≤ 8.0 |

注：刨花板数据来自参考文献[15]。

在 4 种秸秆中，棉秆木质部纤维长度仅次于烟秆，但其长宽比最大，纤维之间接合能力最好，其纤维素含量仅次于辣椒秆，木素含量最高，因而棉秆重组材的综合性能最好；烟秆由于灰分含量最高，极大的影响其表面的湿润性能，胶液不易渗透，影响到烟秆束与胶黏剂的吸附能力和氢键的形成，胶合质量不高，表现为内结合强度最低；豆秆木质部纤维长度较短，其他性能也比棉秆稍次，其重组材的综合性能不如棉秆重组材；辣椒秆纤维素含量最高，1%NaOH 抽出物含量最少，木质化的程度较好，所以辣椒秆重组材的防水性能较好，但是，由于其木质部纤维长度最短，灰分含量仅次于烟秆，因而其静曲强度值最低。

4 种秸秆的 2 h 吸水厚度膨胀率都没有达到国标要求（表 4）。原因在于 4 种秸秆均为一年生双子叶草本植物，同木材相比，秸秆木质化程度不高，其化学组成的碳水化合物中纤维素的聚合度较低，半纤维素含量偏高，原料有机物杂质含量高，冷热水抽出物较多，木质部中的薄壁细胞是活细胞，内含物（主要是糖）较多，糖的成分是易吸湿的，因而造成秸秆天然的高吸水性，此外，脲醛胶本身防水性能有限，压板时未加防水剂等因素，都是导致秸秆重组材吸水厚度膨胀率较大的原因。因此如何通过添加防水剂、秸秆预处理以及根据秸秆不同特性探索较佳工艺参数等以改善秸秆重组材的防水性能需

进一步深入研究。

4 结论及讨论

1) 棉秆、烟秆、豆秆和辣椒秆均由韧皮部、木质部和髓心组成。木质部是秸秆用于重组材生产的主要部分, 韧皮部和髓心最好在制板时除去。

2) 4 种秸秆的纤维特性与部分阔叶材相近; 在 4 种秸秆中, 烟秆木质部纤维最长, 平均 $1\ 160\ \mu\text{m}$, 其次是棉秆, 平均 $1\ 023\ \mu\text{m}$; 棉秆木质部纤维的长宽比最大, 平均为 51.80; 木质部纤维的壁腔比, 豆秆最大, 平均为 0.62, 其次是棉秆, 平均为 0.51。

3) 4 种秸秆的主要化学成分与木材相似, 有纤维素、半纤维素和木素, 可以作为木材的替代原料, 但 4 种秸秆的灰分、抽出物质量分数较高。

4) 利用脲醛胶可以压制秸秆重组材, 但是需要根据不同秸秆的特性探索最佳的工艺参数。

5) 利用农作物秸秆制造重组材有广阔应用前景, 目前的研究还刚刚开始, 需要大力开展秸秆重组材制备的基础理论研究, 即充分利用先进研究手段, 通过对网状秸秆束单元的制备、秸秆束的压缩及变形机理、秸秆束的界面特性与胶接机理、组坯结构与板材性能及热压传热传质等内容研究, 建立秸秆重组材制备的技术体系, 为秸秆重组材的工业化生产以及更加准确的控制板材性能提供技术参数和理论依据。

6) 有关高等院校和科研单位应当与企业紧密合作, 加强国际交流, 实事求是地面对秸秆重组材生产时遇到的具体技术难题, 如: 原料收集贮存、秸秆特性对工艺的影响、秸秆梳解设备的研制以及板坯铺装等, 通过科技创新与攻关, 找到技术上、工艺上和经济上都能接受的解决方案。

[参 考 文 献]

- [1] 尚大军. 我国秸秆人造板工业若干问题之我见[J]. 中国人造板, 2007, (4): 6—9.
Shang Dajun. Discussion on some points of China's strawboard industry[J]. China Wood-Based Panels, 2007, (4): 6—9. (in Chinese with English abstract)
- [2] 高述超. 我国秸秆人造板发展概况及建议[J]. 林产工业, 2007, 34(4): 5—7.
Gao Shuchao. The course and suggestion for China's straw-based panel development[J]. China Forest Products Industry, 2007, 34(4): 5—7. (in Chinese with English abstract)
- [3] 于文吉, 马红霞, 王天佑, 等. 农作物秸秆人造板发展现状与应用前景[J]. 木材工业, 2005, 19(4): 5—8.
Yu Wenji, Ma Hongxia, Wang Tianyou, et al. Current markets and potential applications for agri-fiber based panels in China[J]. China Wood Industry, 2005, 19(4): 5—8. (in Chinese with English abstract)
- [4] 陈琳, 孙奇. 我国人造板工业发展趋势预测与原料创新研究[J]. 林业科技, 2005, 30(5): 45—47.
Chen Lin, Sun Qi. Forecast of the developing trend and raw materials innovation study of the wood-based panel industry

- in China[J]. Forestry Science and Technology, 2005, 30(5): 45—47. (in Chinese with English abstract)
- [5] 周定国, 张洋. 我国农作物秸秆材料产业的形成与发展[J]. 木材工业, 2007, 21(1): 5—9.
Zhou Dingguo, Zhang Yang. The development of straw-based composites industry in China[J]. China Wood Industry, 2007, 21(1): 5—9. (in Chinese with English abstract)
- [6] 阿伦, 高志悦. 沙柳材重组木的研制[J]. 林业科技, 2006, 31(6): 35—37.
A Lun, Gao Zhiyue. Study on salix scrimber[J]. Forestry Science & Technology, 2006, 31(6): 35—37. (in Chinese with English abstract)
- [7] 张方文, 于文吉. 木/竹重组结构材料研究与进展[J]. 林产工业, 2008, 35(1): 7—12.
Zhang Fangwen, Yu Wenji. Research status and prospect of wood/bamboo reconstituted structural material[J]. China Forest Products Industry, 2008, 35(1): 7—12. (in Chinese with English abstract)
- [8] 朱一辛, 关明杰. 木竹重组材抗弯性能的研究[J]. 南京林业大学学报, 2004, 28(4): 59—61.
Zhu Yixin, Guan Mingjie. Research on bending properties of bamboo and wood hybrid scrimber[J]. Journal of Nanjing Forestry University, 2004, 28(4): 59—61. (in Chinese with English abstract)
- [9] 张奇, 杨玲. 重组木的优势与存在的问题分析[J]. 建筑人造板, 2002, 20(1): 7—8.
Zhang Qi, Yang Ling. Analyze dominancy of scrimber and existent question[J]. Building Artificial Boards, 2002, 20(1): 7—8. (in Chinese with English abstract)
- [10] 姜新波. 重组木的生产性试验[J]. 林产工业, 2001, 28(4): 12—15.
Jiang Xinbo. Production experiment of manufacturing scrimber[J]. China Forest Products Industry, 2001, 28(4): 12—15. (in Chinese with English abstract)
- [11] 金维洙, 马岩. 重组木制造工艺学[M]. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 1998.
Jin Weizhu, Ma Yan. Scrimber Manufacturing Technology [M]. Harbin: Publishing House of Northeast Forestry University, 1998. (in Chinese)
- [12] 宋孝周, 陈达, 郭康权, 等. 农作物秸秆重组材工艺分析与研究展望[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2008, 36(5): 229—234.
Song Xiaozhou, Chen Da, Guo Kangquan, et al. Technical analysis and prospect of crop straw scrimber[J]. Journal of Northwest Agriculture and Forestry University(Natural Science Edition), 2008, 36(5): 229—234. (in Chinese with English abstract)
- [13] 马红霞. 棉秆的湿润性能及其制造中密度纤维板技术的研究[D]. 北京: 中国林科院, 2006.
Ma Hongxia. Study on the Wettability of Cotton Stalk and the Manufacturing Technologies of Medium Density Fiberboard Made from Cotton Stalk[D]. Beijing: Chinese Academy of Forestry, 2006. (in Chinese with English abstract)
- [14] 姚飞. 稻草—木纤维复合材料制造工艺研究[D]. 南京:

南京林业大学, 2004.

Yao Fei. Research on Manufactory Technique of Rice-Straw/Wood-Fiber Composites[D]. NanJing: NanJing Forestry University, 2004. (in Chinese with English abstract)

[15] 全国人造板标准化技术委员会. GB/T4897.2—2003, 刨花板 第 2 部分 在干燥状态下使用的普通用板要求[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003.

Characteristics of crop stalks and performance of their scrimber

Song Xiaozhou, Guo Kangquan^{*}, Feng Dejun, Liu Zhao

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling 712100, China)

Abstract: Characteristics of cotton stalks, tobacco stalks, soybean stalks and capsicum stalks were studied with methods of optical microscopy, fiber isolation and analysis of chemical components. Scrimber of four crop stalks with urea-formaldehyde resin were manufactured. The results showed that the four crop stalks were all consist of phloem, xylem and pith. The xylem was the main parts of utilization for scrimber production. But the contents of ash and extractive of four crop stalks were higher than those of woods, the main chemical components of four crop straw were similar to timber. It is attainable to manufacture scrimbers from four crop stalks with urea-formaldehyde resin, but the optimum technological parameters of producing these scrimbers should be further explored on a basis of characteristics of different crop stalks.

Key words: crop stalks, fibers, material characteristics, scrimber