

蓖麻秆不同部位的特性及其对蓖麻秆刨花板性能的影响

李晓平^{1,2}, 周定国², 徐凯宏³

(1. 西南林学院 木质科学与装饰工程学院, 云南 昆明 650224; 2. 南京林业大学 木材工业学院, 江苏 南京 210037;
3. 东北林业大学 机电工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150040)

摘要: 蓖麻 *Ricinus communis* 秆皮部、木质部和髓部的显微构造差异显著, 对各个部分的原料特性、各部分对刨花板性能的影响进行了分析研究, 并探讨了各个不同部位的工业化利用情况。结果表明, 蓖麻秆的各个层次的理化性能差异显著, 蓖麻秆中的酯类物质和二氧化硅主要富集于蓖麻秆的皮部和髓部。髓部主要是由薄壁细胞组成, 可对蓖麻秆刨花板的性能产生不利影响; 将蓖麻秆的髓部去除后, 除弹性模量外, 板材的其他各项性能都得到了明显改善, 板材的内结合强度增加 3.3%, 静曲强度增加 19.7%, 吸水厚度膨胀率减小 18.82%。在蓖麻秆的工业化利用中宜将髓部去除; 蓖麻秆皮部对人造板的性能不明显, 在蓖麻秆的工业化利用中可以保留皮部。图 2 表 4 参 12

关键词: 林业工程; 蓖麻秆; 不同部位; 原料特性; 蓖麻秆刨花板

中图分类号: S718; S565.6 文献标志码: A 文章编号: 1000-5692(2010)03-0424-06

Feasibility of castor stalks for particle boards

LI Xiao-ping^{1,2}, ZHOU Ding-gou², XU Kai-hong³

(1. School of Wood Science and Interior Decoration, Southwest Forestry College, Kunming 650224, Yunnan, China;
2. College of Wood Science and Technology, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China; 3. College of Mechanical and Electrical Engineering, Northeast Forestry University, Harbin 150040, Heilongjiang, China)

Abstract: In the castor (*Ricinus communis*) stalk there are major differences in the microstructure of the phloem, xylem, and marrow. This research studied raw material characteristics in different layers of the castor stalk and their influence on properties of castor stalk based particle board for industrial use. Results of the physical and chemical properties of the castor stalk layers showed that lipid material and SiO₂ were enriched in the surface layer of the phloem and marrow. The marrow had a negative influence on the castor stalk based particle board due to its parenchyma cells. Except for the modulus of elasticity (MOE) that increased 19.7%, removing the marrow improved particle board properties with internal bond strength (IB) increasing 3.3% and swelling thickness decreasing 18.8%. Phloem, however, did not influence board properties. Thus, for industrial use as particle board, the marrow of the castor stalk would have to be removed, but the phloem would not. [Ch, 2 fig. 4 tab. 12 ref.]

Key words: forest engineering; castor stalk; different layer; raw material characteristics; castor stalk based particle board

蓖麻 *Ricinus communis* 为大戟科 Euphorbiaceae 蓖麻属 *Ricinus* 的唯一一种, 是世界十大油料作物之一。蓖麻油是一种不可替代的化工原料, 被称为“可再生的绿色石油”, 被广泛用于化工、能源、医药等领域, 利用蓖麻油制造的产品达 3 000 多种。蓖麻所产生的蓖麻毒素在医学、生物农药等方面的

收稿日期: 2009-05-16; 修回日期: 2009-09-14

基金项目: “十一五” 国家科技支撑计划项目 (2006BA007A07-04)

作者简介: 李晓平, 博士, 从事生物复合材料研究。E-mail: lxp810525@163.com。通信作者: 周定国, 教授, 博士, 博士生导师, 从事人造板生产和木材加工研究。E-mail: dgzhou@njfu.edu.cn

应用又成为当今广大科研工作者的研究热点^[1-4]。目前, 中国有 46 万 hm^2 的蓖麻种植面积^[5-7], 为世界上三大蓖麻生产国之一。蓖麻秆是一种中空多节的木质原料, 在中国为 1 年生的木质草本, 主要分布于内蒙古通辽地区和吉林白城地区等, 将蓖麻秆进行工业化利用, 可减少蓖麻秆焚烧造成的环境污染, 变废为宝, 增加农民收入, 推动蓖麻产业发展, 缓解中国蓖麻油供应不足和木材资源严重短缺的现状, 具有多重效益。利用蓖麻秆生产刨花板试制成功, 并已申请了国家发明专利(专利申请号为 200610096823.4)^[8]。对 100 种不同工艺条件下制造的蓖麻秆刨花板的性能进行了仔细研究, 最终确定出了板材的最佳制板工艺参数^[9]。蓖麻秆的皮层、木质部和髓部的显微构造存在明显差异, 皮部和木质部的纤维形态也差异明显, 而髓部则主要为多面体薄壁细胞^[10]。笔者主要研究了蓖麻秆皮部、木质部和髓部的理化性能差异; 分析在最佳制板工艺条件下, 不同部位对蓖麻秆刨花板的性能影响; 并探讨蓖麻秆不同层次在其他工业化领域中的应用和前景。

1 研究内容和测试方法

1.1 实验材料

将采用产自山东省淄博市的蓖麻秆整秆的皮部、木质部和髓部进行手工分离, 用来制取样品。皮部、木质部和髓部的质量百分比分别为 10.90%, 83.95% 和 5.15%。分别研究不同部位的理化性能及其对蓖麻秆刨花板性能的影响。

1.2 研究内容和测试方法

1.2.1 浸润性和材料表面官能团研究 ①试样制备。将样品粉碎, 取 30 目到 40 目的木粉, 置于自封袋中备用。②浸润性。采用芬兰生产的 Sigma 700 高性能表面张力/接触角仪测定稻草表面的浸润性, 由于仪器本身条件限制, 在本实验中以水为浸润剂进行研究。③材料表面官能团。利用德国 Thermo 公司生产的 NICOLET 380 型傅立叶变换红外光谱仪, 样品不经过任何处理, 直接扫描研究。扫描时间为 64 s, 光圈直径为 6 mm, 分辨率为 8 cm^{-1} , 数据范围为 $4\ 000 \sim 1\ 000\text{ cm}^{-1}$ 。

1.2.2 相对结晶度研究 ①试样制备。将样品粉碎, 取可通过 100 目的木粉, 置于自封袋中备用。②仪器。丹东方圆仪器有限公司制造, 型号为 DX-200 的广角 X-衍射仪, 采用 $\theta \sim 2\theta$ 联动方式进行测试。铜靶, 辐射电压为 40 kV, 电流为 30 mA, 斜孔狭缝为 0.2 mm, 测角(2θ)转速为 $3^\circ \cdot \text{min}^{-1}$, 扫描速度为 $0.05^\circ \cdot \text{s}^{-1}$ 。衍射强度自动扫描记录, 并按照 Segal 法计算出相对结晶度。

1.2.3 化学成分和表面自由基浓度研究 ①试样制备。将样品粉碎, 取 40 目到 60 目的木粉, 置于自封袋中备用。②化学成分。按照 GB/T 2677.1 - 1993 造纸原料化学成分分析标准进行研究。③表面自由基浓度。利用日本电子株式会社(JEOL)生产的型号为 JES-FA200 的电子自旋共振波谱仪对原料的表面自由基浓度进行测试。微波频率为 9 116 MHz, 调制频率为 100 kHz, 中心场强为 325.989 mT, 扫描场宽为 $\pm 5\text{ mT}$, 扫描功率为 0.754 mW。

1.2.4 蓖麻秆刨花板研究 ①蓖麻秆刨花。将上述利用手工分别去除皮部、髓部、皮部和髓部的蓖麻秆利用削片机进行削片, 利用双鼓轮刨片机进行再碎以制取刨花。②脲醛树脂。市购, 固含量为 $650\text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 黏度为 $50\text{ Pa} \cdot \text{s}$ (4 号涂料杯), E1 级。③固化剂。氯化铵, 市购, 分析纯, 添加量为脲醛树脂胶固含量的 1%。④制板工艺。热压温度为 $150\text{ }^\circ\text{C}$, 热压时间为 $30\text{ s} \cdot \text{mm}^{-1}$, 施胶量为 $120\text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 采用三段式的热压曲线。在实验室进行手工铺装, 制成幅面为 $300\text{ mm} \times 300\text{ mm} \times 10\text{ mm}$ 的板材, 在相同条件下每个实验重复进行 2 次。⑤性能测试。按照 GB/T 17657-1999 人造板及饰面人造板理化性能测试方法测试板材的各项性能。

2 结果与讨论

2.1 原料的理化性能分析

2.1.1 浸润性分析 该性质是人造板制造过程中的重要参数。由表 1 可得, 样品与水的接触角的大小顺序为皮部 > 髓部 > 整秆 > 木质部, 这与样品的抽提物含量、灰分含量的大小顺序是一致的。即在蓖麻秆的皮部、髓部富含二氧化硅和脂类物质。这些物质又导致了材料的浸润性变差, 不利于胶黏剂与

原料形成良好的胶合界面。蓖麻秆的木质部与水的接触角最小, 浸润性最好。蓖麻秆整秆是由皮部、木质部和髓部三部分混合而成, 其浸润性介于木质部和皮部、髓部之间。

2.1.2 相对结晶度分析 由表1可见, 相对结晶度的大小顺序为皮部>整秆>髓部>木质部, 在蓖麻秆的皮部中含有相对结晶度较高的纤维素。整秆的相对结晶度小于皮部, 但大于髓部和木质部, 为63.27%, 远高于稻草的相对结晶度^[11], 也高于部分木材的相对结晶度, 是一种性能优良的纤维原料。

2.1.3 化学成分分析 由表1可得, 在蓖麻秆的三部分中蓖麻秆皮部的抽提物、灰分最多, 木素、综纤维素最少。木质部的抽提物和灰分最少, 木素、综纤维素最多。髓部的抽提物低于皮部, 高于木质部; 木素、综纤维素高于皮部, 但低于木质部。蓖麻秆整秆的化学成分除苯醇抽提物外, 其余指标均介于皮部、髓部和木质部之间。

表1 蓖麻秆及其不同部位的理化性能

Table 1 Physical and chemical properties of the castor stalk and its different layers

样品部位	含水率/ (g·kg ⁻¹)	热水抽提物/ (g·kg ⁻¹)	1%氢氧化钠抽 提物/(g·kg ⁻¹)	苯醇抽提物/ (g·kg ⁻¹)	灰分/ (g·kg ⁻¹)	木素/ (g·kg ⁻¹)	综纤维素/ (g·kg ⁻¹)	相对结晶度/ %	接触角/(°)
皮部	117.8	204.0	603.3	20.4	68.3	60.9	664.5	64.81	87.99
木质部	81.5	55.7	360.9	18.6	19.0	219.4	735.1	62.91	81.56
髓部	104.5	148.6	575.7	19.6	63.1	87.7	700.4	63.08	85.43
整秆	82.9	114.0	448.0	22.6	32.1	154.8	704.6	63.27	83.47

2.1.4 表面官能团分析 利用红外光谱仪对上述样品进行了研究。查阅有关资料和红外光谱谱图库, 得到红外光谱部分吸收带相应的频率与归属见表2, 所得到的谱图见图1。由图1和表2可得, 皮部样品和整秆样品在3 700~3 750 cm⁻¹处出现了一个尖锐的小峰, 说明这些样品中含有游离—OH; 木质部样品和髓部样品在该范围内的峰不明显, 说明这2个样品中的游离羟基含量不明显。在3 448~3 300 cm⁻¹处所有样品均呈现宽强的吸收峰, 该峰由纤维素中的缔结—OH产生; 髓部在此处的吸收峰最强, 其次为整秆; 皮部和木质部的吸收峰强度接近, 最弱。在2 850~2 925 cm⁻¹处出现了比较宽的强吸收峰, 该峰为烷烃, 木素, 脂肪酸和甲基C—H的伸展振动峰; 髓部和整秆的吸收峰强度相近, 最强; 其次为皮部, 木质部的吸收峰最弱。1 750~1 690 cm⁻¹为C=O的伸缩振动峰, 在该处整秆和皮部的吸收峰相近、最强, 髓部和木质部的吸收峰相近、最弱。1 200~1 660 cm⁻¹为糖类物质的吸收峰, 在此吸收峰处整秆的的吸收峰最强, 其次为髓部和皮部, 木质部的吸收峰最弱。1 000~1 250 cm⁻¹为C—O, C—C和—O—Si—O—基团特征峰, 在此范围内, 整秆的吸收峰最强, 其次为髓部、再次为皮部, 木质部的吸收峰最弱; 并且在髓部和木质部上可以看到有明显的—O—Si—O—基团的分裂峰出现, 说明这2个样品中的—O—Si—O—基团的含量较多; 而在其他2个样品中没有看到该基团的特征峰; 二氧化硅主要存在于灰分中, 红外谱图的分析结果和表1的测试结果是一致的, 即二氧化硅主要集中分布在蓖麻秆的皮部和髓部, 而在木质部和整秆中二氧化硅含量不明显。因为二氧化硅在人

表2 部分吸收带相应的频率与归属

Table 2 Frequency and ascription of assimilate area partly

波数/cm ⁻¹	吸收谱带的归属
3 701	O—H 伸缩振动
3 317	O—H 伸缩振动
2 896	C—H 伸缩振动
1 728	C=O 伸缩振动(木聚糖乙酰基 CH ₃ C=O)
1 635	C=O 伸缩振动(木质素中的共轭羰基)
1 597	苯环的碳骨架振动
1 429	C—H 弯曲振动(木质素、聚糖中的 CH ₂); 苯环的碳骨架振动(木质素)
1 362	CH 弯曲振动(纤维素和半纤维素)
1 323	OH 面内弯曲振动
1 237	乙酰氧键 CO—OR 伸缩振动(半纤维素乙酰氧基); 苯环-氧氢键伸缩振动(木质素)
1 063	二氧化硅吸收峰
1 030	C—O 伸缩振动(纤维素、半纤维素和木质素)

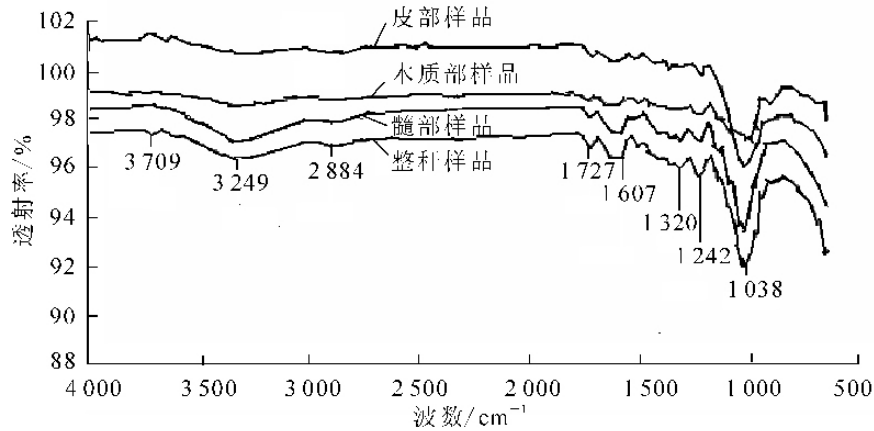


图 1 蓖麻秆及其不同部位的红外光谱图

Figure 1 FTIR Spectrometry of the castor stalk and its different layers

造板的生产过程中会产生不利影响,而蓖麻秆的二氧化硅含量不显著,所以利用普通的脲醛树脂胶为胶黏剂、蓖麻秆为原料就可制造出性能优良的人造板。

2.1.5 表面自由基浓度分析 在木材科学中,电子自旋共振波谱仪(ESR)已经成为研究含有一个或多个不成对电子的分子体系即自由基的结构和动力学的基本手段。通过波谱细节分析有可能对特定的自由基进行直接鉴定和表征,可以将用于推论物理相互作用的 ESR 波谱特征方便地归为 4 种参数:① g 值;②强度;③曲线形状;④超精细结构。 g 值是与测量中所用微波频率无关的一个自由基固有的值,反映自由基的电子状态。通过 g 值测量,可得知具有未成对电子的原子的种类、原子价键的性质。波谱信号的强度即信号下面的积分面积,与产生波谱的不成对电子自旋浓度成正比。ESR 的曲线形状或宽度和自旋格子的驰豫、环绕每个分子的局部磁场差异有关。超精细结构来源于电子自旋与核自旋的相互作用。所分析结果见表 3,谱图见图 2。由表 3 可见,所有样品的 g 值都很相近,只有微小的差异,即所有样品中出现未成对电子的原子相同;由图 2(图的纵坐标表示信号的吸收强度,横坐标表示磁场强度)可得,所有样品的谱图形状相近,都没有出现精细结构,只有吸收峰的高度和积分面积存在差异。相对表面自由基浓度(由于实验条件限制,本实验中所求得的表面自由基浓度为设定整秆的表面自由基浓度为 100 的条件下,得到各个样品的相对自由基浓度)的关系为木质部>皮部>整秆>髓部,木质部的表面自由基浓度最大,髓部的自由基浓度最小,皮部的自由基浓度介于两者之间。整秆的表面自由基浓度高于髓部而低于皮部和木质部。

2.2 不同部位对蓖麻秆刨花板性能的影响

在蓖麻秆人造板的制造过程中,蓖麻秆的皮部韧性较强,难于切削,拌胶时出现了结团;而蓖麻秆的髓部则主要是由多面体薄壁细胞组成。下面主要研究了在相同的工艺条件下以脲醛树脂

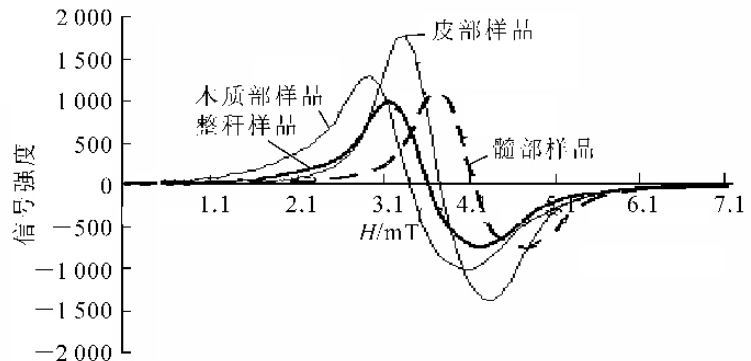


图 2 蓖麻秆及其不同部位的 ESR 谱图

Figure 2 ESR Spectrometry of the castor stalk and its different layers

表 3 蓖麻秆及其不同部位 ESR 谱图分析结果

Table 3 Results of the castor stalk and its different layers in ESR Spectrometry

样品部位	g 值	相对表面自由基浓度	峰面积
皮部	1.997 08	135.200	17.89
木质部	1.997 24	159.700	21.14
髓部	1.997 29	84.457	11.18
整秆	1.997 24	100	13.24

为胶黏剂,分别利用蓖麻的整秆,去皮的蓖麻秆、去髓的蓖麻秆及去皮去髓的蓖麻秆(即木质部)为原料制造刨花板,比较分析蓖麻秆的不同层次对蓖麻秆刨花板材性能的影响,采用 t -检验法分析蓖麻秆不同层次人造板性能的差异显著性。参照刨花板的国家标准(GB/T 4897.2-2003)对板材的力学性能进行了测试。结果采用 $\bar{x} \pm s$ 表示, $\bar{x}$ 表示平均值, s 表示标准差;结果见表4所示。

表4 蓖麻秆不同部位人造板的性能测试结果

Table 4 Properties of castor stalk and its different layers-based board

板种	设计密度/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	厚度/mm	实际密度/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	内结合强度/ MPa	静曲强度/MPa	弹性模量/MPa	2 h 吸水厚度 膨胀率/%
整秆	0.75	10	0.71 ± 0.07	0.89 ± 0.10	17.82 ± 2.17	$1\,926.70 \pm 59.26$	23.88 ± 5.41
去皮	0.75	10	0.74 ± 0.04	0.88 ± 0.09	17.62 ± 3.42	$2\,083.11 \pm 79.72$	24.31 ± 1.79
去髓	0.75	10	0.70 ± 0.04	0.92 ± 0.12	22.19 ± 0.66	$1\,945.02 \pm 80.14$	20.09 ± 1.6
去皮+髓	0.75	10	0.73 ± 0.04	1.08 ± 0.13	17.66 ± 1.05	$2\,088.47 \pm 75.48$	22.43 ± 1.92
GB/T 4897.2-2003		6 ~ 13	0.55 ~ 0.85	≥ 0.40	≥ 14	$\geq 1\,800$	≤ 8

说明: $\bar{x} \pm s$, $n = 300$ 。

由表4可得,除板材的吸水厚度膨胀率(TS)没有达到国标要求外,其余指标为内结合强度(IB)、板材的静曲强度(MOR)和弹性模量(MOE),均可满足国家普通刨花板标准对室内装饰和家具用材的要求。在本试验的进行中没有添加防水剂,可通过添加防水剂改善板材的吸水厚度膨胀率,将在后面对此进一步研究。将蓖麻秆的皮部去掉以后,板材的IB减少1.1%,MOR减小1.1%,MOE增加2.7%,TS增加1.84%,变化都不明显,可见皮部对板材的性能影响不明显。将髓部去除以后,板材的IB增加3.3%,MOR增加19.7%,TS减小18.82%,将髓部去除后,虽然MOE减小4.2%,但仍可满足国家普通刨花板标准对室内装饰和家具用材的要求,但板材的其他性能都得到了较明显改善,可见髓部对蓖麻秆人造板的制造可产生不利因素,因为髓部是由多面体薄壁细胞组成,在蓖麻秆生产人造板的过程中,可考虑将蓖麻秆的髓部去除。将皮部和髓部去除以后板材的IB增加21.34%,MOE增加8.40%,TS减小6.03%,MOR降低0.90%;进一步说明蓖麻秆的皮部和髓部会对蓖麻秆人造板的制造产生影响。另外,利用 t 检验法对蓖麻秆不同部位人造板性能的差异显著性进行了检验,结果表明在显著性水平 $\alpha = 0.05$ 的条件下,利用不同部位制造的人造板性能的差异性显著。但是,如果将蓖麻秆的髓部去除以后,将会影响原料的利用率,增加蓖麻秆刨花板的制造成本。为了降低板材的生产成本和提高蓖麻秆原料的利用率,可考虑将蓖麻秆的不同部位分别用于其他的工业领域。

3 蓖麻秆不同部位在其他工业领域的应用探讨

在蓖麻秆的各个层次中,皮部的浸润性最差,相对结晶度最高,抽提物、灰分最多,综纤维素、木质素含量最少,在其傅立叶变换红外光谱图中可看到明显的二氧化硅特征峰,但对皮部的纤维形态进行研究,结果表明皮部的纤维长度可达29 mm^[10]。可见,蓖麻秆的皮部是一种相对结晶度、纤维长度高的优质纤维原料,不仅可用于制造人造板,还是可用于造纸、纺织等工业领域。

相对蓖麻秆的其他层次,木质部的浸润性最好,相对结晶度最低,抽提物和灰分最少,综纤维素和木素最多,表面自由基浓度低于皮部高于木质部,在红外光谱图中看不到明显的二氧化硅特征峰,其显微构造和纤维形态都类似于阔叶材^[10],是一种优质的木质纤维原料,除用于人造板制造外,还可用于造纸。

髓部的浸润性、相对结晶度和化学成分均介于皮部和木质部之间,表面自由基浓度最低,在其红外光谱图上可看到明显的二氧化硅特征峰。解离后可看到该部分的细胞主要由多面体薄壁细胞组成,并对蓖麻秆刨花板性能产生不利影响,较适合用来制造保温材料。在一定的温度、压力条件下,不需要添加任何胶黏剂即可热压成型,在实验室利用JW-Ⅲ型热流计导热仪对板材的导热系数进行了研究^[12],测试结果仅为 $0.053\,9\, \text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$,为利用蓖麻秆髓部开发保温材料提供了参考依据。另外,蓖麻的髓

部为多面体薄壁细胞,具有可压缩性好和保温性好等特点;不仅可用来开发保温材料,还可用来开发包装材料等。

4 结论

蓖麻秆及其不同层次的理化性能差异显著,与木质部相比,皮部和髓部的浸润性差,相对结晶度高,灰分和抽提物,以及木素和综纤维素多,在皮部和髓部的红外光谱图上可看到明显的二氧化硅特征峰。利用脲醛树脂为胶黏剂,蓖麻秆及去除不同部位的蓖麻秆为原料生产刨花板,除吸水厚度膨胀率以外,其性能均可满足国家普通刨花板标准对室内装饰和家具用材的标准要求;在显著性水平 0.05 的条件下,利用各个不同部位制造的板材的性能差异性显著。蓖麻秆皮部对板材性能的影响不明显,髓部对板材性能可产生不利影响;将蓖麻秆的髓部去除后,除弹性模量外,板材的其他各项性能都得到了明显改善,板材的内结合强度增加 3.3%,静曲强度增加 19.7%,吸水厚度膨胀率减小 18.82%,将皮部去除后板材性能的变化不明显;在人造板的生产中可考虑将髓去除,保留皮部。

参考文献:

- [1] 郑成,许丽珠,高晓明,等.蓖麻碱的提取、纯化、改性及其杀虫活性研究[J].天然产物研究与开发,2007,19(5): 785 - 790.
ZHENG Cheng, XU Lizhu, GAO Xiaoming, et al. Study on the extraction, purification and recombination of the ricinine and its insecticidal effects [J]. *Nat Prod Res Dev*, 2007, 19(5): 785 - 790.
- [2] 刘骁,李端.蓖麻碱的生物活性研究与应用开发前景[J].中国药理学与毒理学杂志,2006,20(1): 76 - 78.
LIU Xiao, LI Duan. Biological activity of ricinine and outlook of its applied development [J]. *Chin J Pharmacol Toxicol*, 2006, 20(1): 76 - 78.
- [3] 雷德柱,郑成,高晓明,等.蓖麻碱的分子修饰及其杀虫活性基团的探讨[J].化工学报,2008,59(5): 1238 - 1241.
LEI Dezhu, ZHENG Cheng, GAO Xiaoming, et al. Modification of ricinine and insecticidal effect on aedes albopictus skuse [J]. *J Chem Ind Eng (China)*, 2008, 59(5): 1238 - 1241.
- [4] 邹立波,詹金彪.蓖麻毒素的提取及其抗肿瘤作用研究[J].浙江大学学报:医学版,2005,34(3): 217 - 219.
ZOU Libo, ZHAN Jinbiao. Purification and anti-cancer activity of ricin [J]. *J Zhejiang Univ Med Sci*, 2005, 34(3): 217 - 219.
- [5] 王光明.蓖麻趣话[EB/OL].(2007-03-14)[2009-04-10].<http://www.bimachina.com/bima.htm>.
- [6] LIN J T, LEW K M, CHEN J M, et al. Metabolism of 1-acyl-2-oleoyl-sn-glycero-3-phosphoethanolamine in castor oil biosynthesis [J]. *Lipids*, 2000, 35(5): 481 - 486.
- [7] 吕相义,李军,毕万新.国内外蓖麻生产的现状、问题及对策[J].中国农技推广,2003(6): 25 - 26.
LÜ Xiangyi, LI Jun, BI Wanxin. The status, difficulties and ventures [J]. *China Agric Technol Ext*, 2003(6): 25 - 26.
- [8] 李晓平,施静波,潘明珠.蓖麻秆制造人造板研究初探[J].林业科技开发,2008,22(3): 77 - 79.
LI Xiaoping, SHI Jingbo, PAN Mingzhu. The primary study of the castor-staw based board [J]. *China For Sci Technol*, 2008, 22(3): 77 - 79.
- [9] 李晓平.利用蓖麻秆制造人造板的机理和工艺研究[D].南京:南京林业大学,2009.
LI Xiaoping. *The Mechanism and Manufacturing Technics of Castor Stalks Based Board* [D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2009.
- [10] 李晓平,周定国,周绪斌,等.蓖麻秆显微构造和纤维形态的研究[J].浙江林学院学报,2009,26(2): 239 - 245.
LI Xiaoping, ZHOU Dingguo, ZHOU Xubin, et al. Microstructure and fiber size of the castor-oil plant [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2009, 26(2): 239 - 245.
- [11] 李晓平,周定国.新陈稻草性能的差异研究[J].农业工程学报,2008,24(5): 228 - 230.
LI Xiaoping, ZHOU Dingguo. Difference between new rice straw and stale rice straw [J]. *Trans Chin Soc Agric Eng*, 2009, 24(5): 228 - 230.
- [12] 李晓平,高魏,周定国.稻草-木材复合空芯刨花板保温性能研究[J].中国人造板,2007,14(6): 7 - 8.
LI Xiaoping, GAO Wei, ZHOU Dingguo. Research on heat insulating properties of the rice straw-wood hollow particle board [J]. *China Wood-Based Panels*, 2009, 14(6): 7 - 8.