

芦苇茎秆表皮特性及防水剂用量对刨花板性能的影响

王新洲, 邓玉和, 廖承斌, 陈琛, 王宁生, 吴晶, 侯天宇

(南京林业大学 木材工业学院, 江苏 南京 210037)

摘要: 芦苇 *Phragmites australis* 作为一种天然的生物质材料在木质复合材料的应用方面具有很大潜力。运用扫描电子显微镜、红外吸收光谱仪对芦苇茎秆表皮的微观构造及化学成分进行了分析, 并测试了芦苇茎秆硅的质量分数及表面接触角。在此基础上研究防水剂用量对板材性能的影响, 以解决芦苇刨花板胶合强度差的问题。结果表明: 芦苇茎秆表皮含有蜡质层和硅物质, 茎秆硅的质量分数达到 $20.9 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$; 当不添加防水剂时, 制得刨花板的物理力学性能达到了国家标准 GB/T4897.3-2003 中的技术指标要求, 添加防水剂使刨花板的物理力学性能下降, 其中内结合强度的降幅最大。经机械粉碎后的芦苇刨花均匀地分散在板坯中, 刨花表皮中的硅物质可以起到防水作用, 因此, 在不添加防水剂的条件下采用脲醛树脂胶黏剂可以制造出合格的芦苇刨花板。图 5 表 3 参 11

关键词: 木材科学; 芦苇茎秆; 特性; 刨花板; 防水剂

中图分类号: S781.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0756(2013)02-0245-06

Characteristics of reed stem epidermis and effects of waterproofing agent on reed particleboard

WANG Xinzhou, DENG Yuhe, LIAO Chengbin, CHEN Chen, WANG Ningsheng, WU Jing, HOU Tianyu

(College of Wood Science and Technology, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China)

Abstract: Reed is a natural biological material and has great potential as reinforced material in wood-based composites. To resolve the problem of low bond strength with reed particleboard, the reed (*Phragmites australis*) stem epidermis was analyzed with a scanning electron microscope (SEM) and infrared spectrometer. Microstructure and chemical composition were determined, and then the silicon mass fraction and the surface contact angle of the reed stem were tested. Finally, the effect of waterproofing agent on the physical and mechanical properties of reed particleboard was studied. Results showed that the reed stem epidermis contained a wax layer and silicon with the mass fraction of the silicon reaching $20.9 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$. The physical and mechanical properties met the demands of National Standards (GB/T 4897.3-2003) without adding waterproofing agent. When waterproofing agent was added, the physical and mechanical properties, especially internal bond strength, decreased greatly. Thus, silicon from the reed stem epidermis produced by reed particles dispersed in plate slap after mechanical shattering could be used as water repellent meaning it was possible to manufacture qualified particleboard using urea-formaldehyde resin adhesive without adding waterproofing agent. [Ch, 5 fig. 3 tab. 11 ref.]

Key words: wood science; reed stem; characteristics; particleboard; waterproofing agent

芦苇 *Phragmites australis* 为禾本科 Poaceae 多年生高大草本植物, 广泛分布于世界各地, 是世界分布的重要湿地物种, 具有广泛的适应性及形态变异, 并有极高的生态学和社会经济学价值。中国芦苇资源丰富, 分布广泛且集中, 现在全国范围内有 14 个芦苇主产区, 芦苇面积为 $1.3 \times 10^6 \text{ hm}^2$ ^[1]。目前, 芦苇主要用于造纸^[2]和编织, 利用范围窄, 应用价值不高, 还有大量的被焚烧或处于待开发的状态, 造成

收稿日期: 2012-03-26; 修回日期: 2012-06-21

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30871973)

作者简介: 王新洲, 从事木质复合材料研究。E-mail: xzwang_njfu@hotmail.com。通信作者: 邓玉和, 教授, 从事木质及非木质复合材料等研究。E-mail: dengyuhe@hotmail.com

环境污染和资源的严重浪费。若能利用芦苇生产刨花板,既可以使芦苇资源得到充分的利用,有效地节约木材;同时由于芦苇茎秆含水率仅为10%左右,远低于企业收购木材时的含水率,生产1 m³刨花板所消耗的芦苇约0.85 t,比木材低,因此,可以降低刨花板的生产成本,实现社会效益和生态效益的共赢。虽然,芦苇与木材一样属于天然高分子材料,是理想的木材原料的替代品,但由于芦苇茎秆表皮性质的特殊性,在胶合上还存在许多问题,极大地阻碍了芦苇人造板的发展。韩广萍等^[3-4]研究了原料破碎程度、板密度和施胶量对芦苇刨花板性能的影响,发现芦苇茎秆表皮具有光滑的蜡质层和硅物质,使得胶黏剂很难浸入到茎秆内部,妨碍芦苇与芦苇之间的良好胶合,因此,用普通脲醛树脂胶压制的芦苇刨花板内结合强度很低,产品质量达不到国家标准的要求。濮安彬等^[5]研究了异氰酸酯胶芦苇刨花板的性能,产品性能有所提高,但异氰酸酯胶价格远高于普通脲醛树脂胶,异氰酸酯胶在生产过程中存在黏板等问题,制约了芦苇刨花板的工业化生产。本研究对芦苇茎秆表皮的微观结构、化学组成以及表面润湿性进行了研究,并在不同防水剂用量的条件下试制芦苇刨花板,分析其防水剂用量与板材性能的关系,进而通过调整防水剂用量的措施以解决脲醛树脂胶生产芦苇刨花板内结合强度差的问题。

1 材料及方法

1.1 试验材料

芦苇,取自江苏省宿迁地区,收割后经过自然风干,初始含水率约为10.0%。选取完整、光洁、厚度适当的芦苇茎秆作为试验样品。

试验分析仪器:扫描电子显微镜(FEI Quanta 200), Thermo Nicolet 380型傅氏转换红外光谱仪, JC2000A 静滴接触角/界面张力测量仪等。

1.2 试验方法

1.2.1 微观结构及化学成分分析 ①微观结构分析。取表面光洁的芦苇茎秆,用刀片将其制成标准样本,通过扫描电镜观察茎秆微观结构,样本包括芦苇茎秆以及去表皮后的茎秆。②表皮官能团分析。采用 Thermo Nicolet 380 型傅氏转换红外光谱仪,使用衰减全反射多功能采样器,扫描次数为126次,分辨率为4 cm⁻¹。样品制备:用刀片将芦苇茎秆表皮刮下,再将刮下的表皮剪成片状,然后经小型粉碎磨机粉碎,取通过孔径60目筛网的粉末压片制样。③二氧化硅质量分数的分析。采用质量法测定芦苇茎秆中二氧化硅的质量分数^[6],进行2次重复实验。芦苇茎秆:取芦苇茎秆上部(即茎秆纵向1/2以上的部分),茎秆下部(即茎秆纵向1/2以下的部分),然后经小型粉碎磨机粉碎,取通过40~60目筛网的粉末。芦苇茎秆表皮:用刀片将茎秆表皮切割分离,取茎秆表皮粉碎,同样取通过40~60目筛网的粉末。

1.2.2 表面接触角的测定 采用静滴接触角/界面张力测量仪分别测量了芦苇茎秆上下部位的内外表面的接触角。从芦苇茎秆上下部(同上)分别截取试件展平,试件长宽为50 mm × 3 mm,厚度为茎秆自身厚度。测定时间为10, 20, 30, 40, 50, 60 s,选用液体为蒸馏水,进行10次重复实验。

1.2.3 试制芦苇刨花板 去除芦苇顶部叶子,打碎后制成芦苇刨花,制得的芦苇刨花的筛分值(表1)。胶黏剂:脲醛树脂胶黏剂,购于滁州华能人造板有限公司。白色乳液,固体含量为635.0 g·kg⁻¹,黏度120 Pa·s(涂-4黏度计)。固化剂为氯化铵。以芦苇刨花为原料,压制30 cm × 30 cm × 1 cm的刨花板,防水剂石蜡的添加量为0, 5.0, 10.0 g·kg⁻¹。实验工艺条件为前期研究中得到的最佳的工艺参数:刨花的施胶量为140.0 g·kg⁻¹,固化剂添加量10.0 g·kg⁻¹,刨花板目标密度0.75 g·cm⁻³,热压时间6 min,热压温度180 ℃,热压压力3.5 MPa,2次重复实验。

2 试验结果与讨论

2.1 芦苇茎秆的微观结构

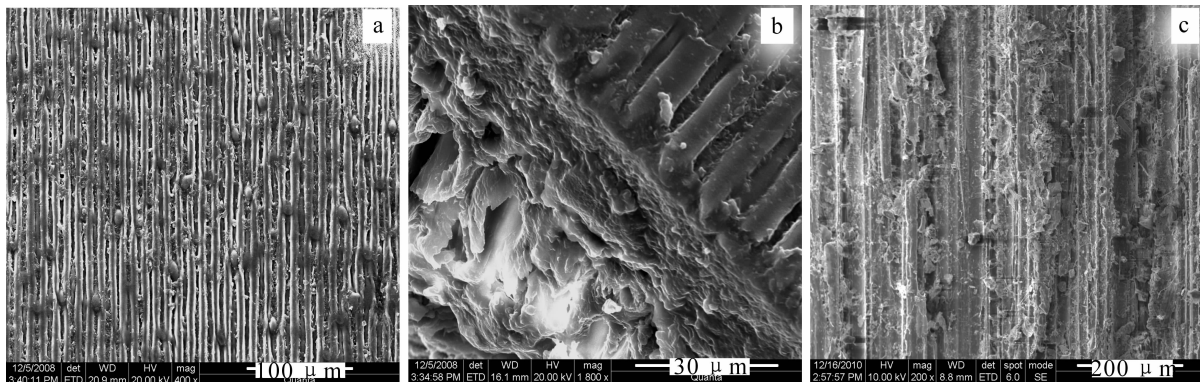
禾本科的表皮层在植株的生长过程中起着保护植株,防止病菌侵害,增强植株机械强

表1 芦苇刨花筛分值

Table 1 Ratio of the reed of different dimensions	
筛网尺寸/目	比例/%
+6	11.9
-6+9	6.4
-9+14	49.9
14+20	10.1
-20+30	13.0
-30+40	4.7
-40+60	2.0
-60	1.2

度，减少体内水分蒸腾等作用。一般认为，表皮层由外表皮和内表皮构成；外表皮由角质层及其外表面的蜡质层组成；内表皮则由角质层、纤维素及果胶构成，称为角化层。

由图1-a和1-b可见：芦苇茎秆外表面光滑、致密，气孔分布甚少。这主要是因为外表面的角质层和蜡质层呈胶状覆盖在茎秆及颗粒状物的外表面上，使表皮成为致密、具有高度不透水性的层次。正是由于这些物质的存在，脲醛树脂等水溶性树脂难以通过角质层浸入芦苇茎秆内部，影响树脂的湿润、扩散、渗透，导致胶合性能降低。对比图1-a和1-c可以看出：去除表皮后，角质层和蜡质层消失，表面粗糙不平部分，疏松物质及纤维物质暴露于表面。



a. 芦苇茎秆外表面($\times 400$); b. 芦苇茎秆断面($\times 1800$); c. 芦苇茎秆去除外表皮后的表面($\times 200$)。

图1 芦苇茎秆扫描电镜(SEM)图像

Figure 1 SEM images of reed stem

2.2 芦苇茎秆表皮官能团分析

运用红外吸收光谱仪对芦苇茎秆表皮进行扫描，分析茎秆表皮官能团的组成。根据纤维素和木质素红外光谱的归属结果，纤维红外光谱的归属特征可归纳为：①波数在 $3\ 640\sim 3\ 200\text{ cm}^{-1}$ 为 $-\text{OH}$ 伸缩震动峰；②波数 $2\ 930\sim 2\ 910\text{ cm}^{-1}$ 为甲基($-\text{CH}_3$)与亚甲基($-\text{CH}_2$)的对称伸缩或反对称伸缩峰；③波数 $1\ 600\sim 1\ 200\text{ cm}^{-1}$ 范围存在系列光谱吸收峰，为糖类物质特征峰；④波数 $1\ 000\sim 1\ 240\text{ cm}^{-1}$ 范围为 $\text{C}-\text{O}$ 和 $\text{C}-\text{C}$ 基团特征峰，而有机硅化物 $-\text{O}-\text{Si}-\text{O}-$ 基团特征峰也在此范围内^[7]。

一般认为，羟基是纤维素的主要红外敏感基团，纤维素的特征吸收峰为 $2\ 900\text{ cm}^{-1}$ ， $1\ 425\text{ cm}^{-1}$ ， $1\ 370\text{ cm}^{-1}$ 和 895 cm^{-1} ；半纤维素也是线型天然多糖， $1\ 730\text{ cm}^{-1}$ 附近的乙酰基和羟基上的 $\text{C}=\text{O}$ 伸缩振动峰是半纤维素区别于其他组分的特征；木质素红外光谱最为复杂，其中含有 $-\text{CH}_3$ ， $-\text{OH}$ 和 $-\text{C}=\text{O}$ ， $-\text{C}=\text{C}$ 和苯环等多种红外第3基团。

图2为芦苇茎秆表皮的红外吸收光谱图。在 $3\ 341\text{ cm}^{-1}$ 有吸收峰，这是羟基化学键 OH 特征吸收峰；在 $2\ 919\text{ cm}^{-1}$ 有吸收峰，这是纤维素的特征峰；在 $1\ 715\text{ cm}^{-1}$ 存在吸收峰，这是半纤维素的特征峰；在 $1\ 600\sim 1\ 200\text{ cm}^{-1}$ 范围内存在多个吸收峰，如 $1\ 367\text{ cm}^{-1}$ 和 $1\ 557\text{ cm}^{-1}$ ，糖类物质的特征峰在这范围内。结果表明：芦苇茎秆表皮中存在纤维素、半纤维素和木质素类物质，且羟基以缔合的形式存在于以上物质的分子链上。

在 $1\ 059\text{ cm}^{-1}$ 是强度很高并且宽度很大的吸收带，主要应归属于无定形 $\text{Si}-\text{O}-\text{Si}$ 键的反对称伸缩振动峰， 800 cm^{-1}

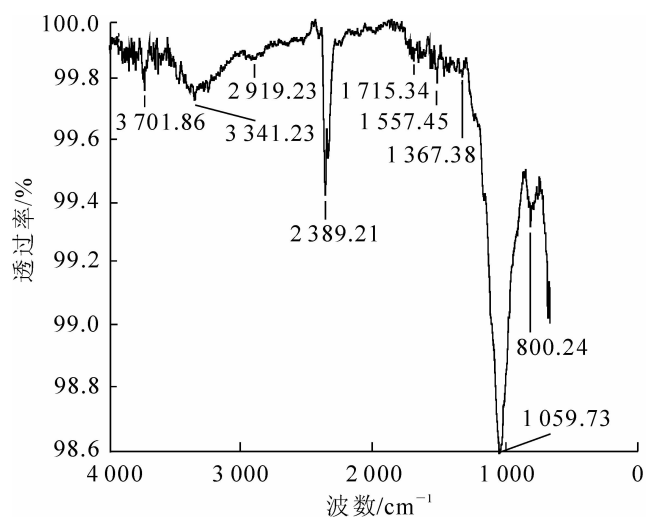


图2 芦苇茎秆表皮的红外吸收光谱图

Figure 2 Infrared absorption spectrum of reed stems epidermis

附近出现的吸收峰归属于 Si—O—Si 键的对称伸缩振动峰，这两处特征峰显现了芦苇表皮含有丰富的有机硅化物^[8]。2 440~2 270 cm^{-1} 为 P—H 基的伸缩振动吸收带。这个吸收带一般为中等或较弱的强度，带形尖锐。在此范围内，表皮在 2 389 cm^{-1} 有尖锐的吸收峰，说明表皮中有较多的磷化合物。可以推断：芦苇表皮富含硅化物，还含有脂肪类物质，两者共同构成芦苇表皮的非极性层，导致了芦苇茎秆表面渗透性较差。

2.3 芦苇茎秆二氧化硅分析

鉴于以上分析结果，对芦苇茎秆整秆及表皮的二氧化硅的质量分数进行定量分析，试验结果见表 2。

表 2 表明：茎秆下部的灰分及二氧化硅质量分数略高于茎秆上部，这主要是芦苇在生长过程中下部沉积了更多的矿物质，故其质量分数较上部高；而茎秆表皮的灰分及二氧化硅质量分数比茎秆平均值略高，这有助于防止水分进入到芦苇的内部，从而保证芦苇的正常生长。由表 3 可知：芦苇茎秆的灰分及二氧化硅质量分数低于麦秸秆，尤其是芦苇表皮层仅为麦秸秆的 42.2%^[9]。

表 2 芦苇茎秆二氧化硅质量分数

茎秆样品	灰分/($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	二氧化硅/($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)
上部	32.8 (0.4)	19.2 (0.5)
下部	37.0 (0.8)	22.5 (0.1)
平均值	34.9 (2.9)	20.9 (2.4)
表皮	35.3 (0.6)	23.2 (1.2)

说明：括号中的数值为标准偏差。

表 3 芦苇茎秆与麦秸秆的比较

样品	灰分/($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	二氧化硅/($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)
麦秸秆表皮	88.7	55.0
麦秸秆整秆	75.7	26.0
芦苇茎秆表皮	35.3(0.6)	23.2(1.2)
芦苇秆整秆	34.9(2.9)	20.9(2.4)

说明：括号中的数值为标准偏差。

2.4 芦苇茎秆表面润湿性

材料的润湿性以液滴在材料表面上润湿接触角 θ (简称润湿角) 的大小来表示。当 $\theta=0^\circ$ 时，表明液体能完全润湿材料；当 $0^\circ < \theta < 90^\circ$ 时，液滴在材料表面形成扁平状，表明这种液体能部分润湿材料；当 $\theta > 90^\circ$ 时，液滴在材料表面上形成滚珠状，表明液体润湿性能差。

蒸馏水在芦苇茎秆表面接触角是动态的，随时间逐渐减小，如图 3 所示。与木材一样，水在芦苇秆表面不存在平衡的润湿角，因为表面的大小毛细管会吸收液体从而使接触角发生变化，这也是区别于其他材料如塑料、玻璃或金属之处。从图 3 的试验结果可知：芦苇茎秆上下部外表面的润湿性均差于内表面，这主要是因为外表面硅化物等憎水性物质含量高于内表面，且外侧表皮的材质比内侧表皮致密坚硬，渗透性比内表面差。同样，由图 3 可以看出：芦苇茎秆下部的内外表面润湿性均优于上部，虽然茎秆下部硅含量略高于上部，但由于下部在生长过程中长期浸泡在水中，材质变得疏松，所以渗透性要好于上部。

与木材相比，芦苇茎秆内表面的润湿性比木材好，外表面的则差于木材(图 4)。对表皮硅质量分数的研究中发现，芦苇茎秆表皮硅物质的质量分数远低于麦草，试验结果也表明芦苇的润湿性好于麦草，因此，采用水溶性的脲醛树脂胶黏剂生产芦苇人造板的可能性大于麦秸秆。

2.5 防水剂用量对板材性能的影响

由图 5 可以看出：随着防水剂添加量的增加，板材的物理力学性能呈下降趋势，尤其对内结合强度影响明显。防水剂添加量从 0 到 10.0 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时，内结合强度 (IB) 值从 0.47 MPa 降至 0.25 MPa，降幅达 46.8%，在防水剂添加量为 10.0 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时芦苇刨花板的内结合强度值低于国家刨花板标准的要求；静曲强度 (MOR) 值从 20.44 MPa 降至 17.63 MPa，降幅

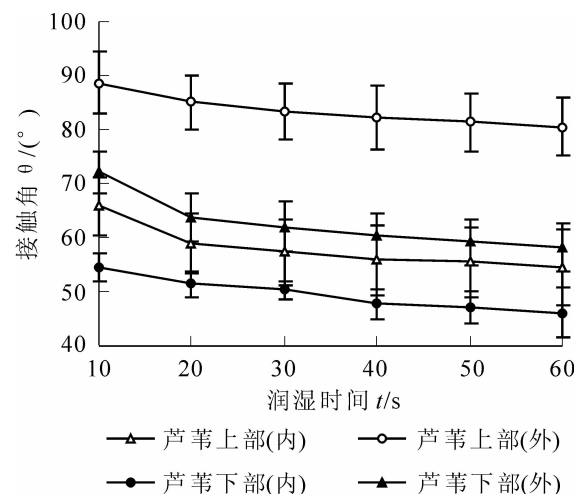


图 3 芦苇茎秆表面接触角与时间的关系
Figure 3 Relationship between the time and contact angles on reed stem

为13.7%；防水剂的添加使弹性模量(MOE)值下降，与静曲强度、内结合强度相比影响不显著；防水剂的添加使芦苇刨花板的吸水厚度膨胀率(TS)增加，与未加防水剂的吸水厚度膨胀率相比，防水剂添加量为 $10.0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的吸水厚度膨胀率值增幅为10.8%。试验结果表明：在不另外添加防水剂的情况下，板材的性能达到国家刨花板标准的要求。

分析其原因主要是芦苇茎秆经机械破碎制成一定尺寸的刨花，含有硅物质的芦苇刨花在拌胶、铺装等过程中随机均匀地分散在板坯中，而芦苇刨花表皮中的二氧化硅具有防水作用，从而改善了板材的吸水性能^[10]。芦苇茎秆的硅物质量约为 $20.0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，接近于刨花板生产中防水剂的添加量上限，试验结果也表明在不添加防水剂的条件下，芦苇刨花板具有较好的物理力学性能。

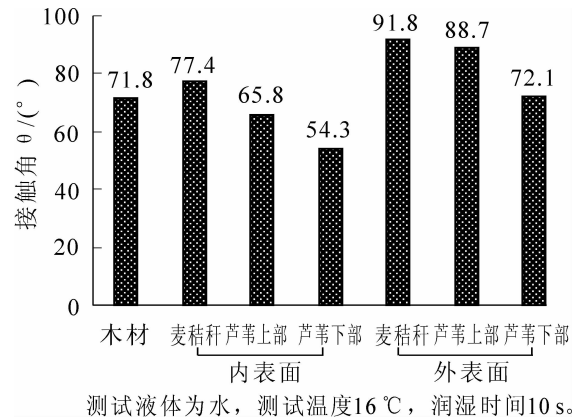


图4 芦苇与其他原料表面接触角的比较
Figure 4 Comparative studies on reed surface wettability and other materials

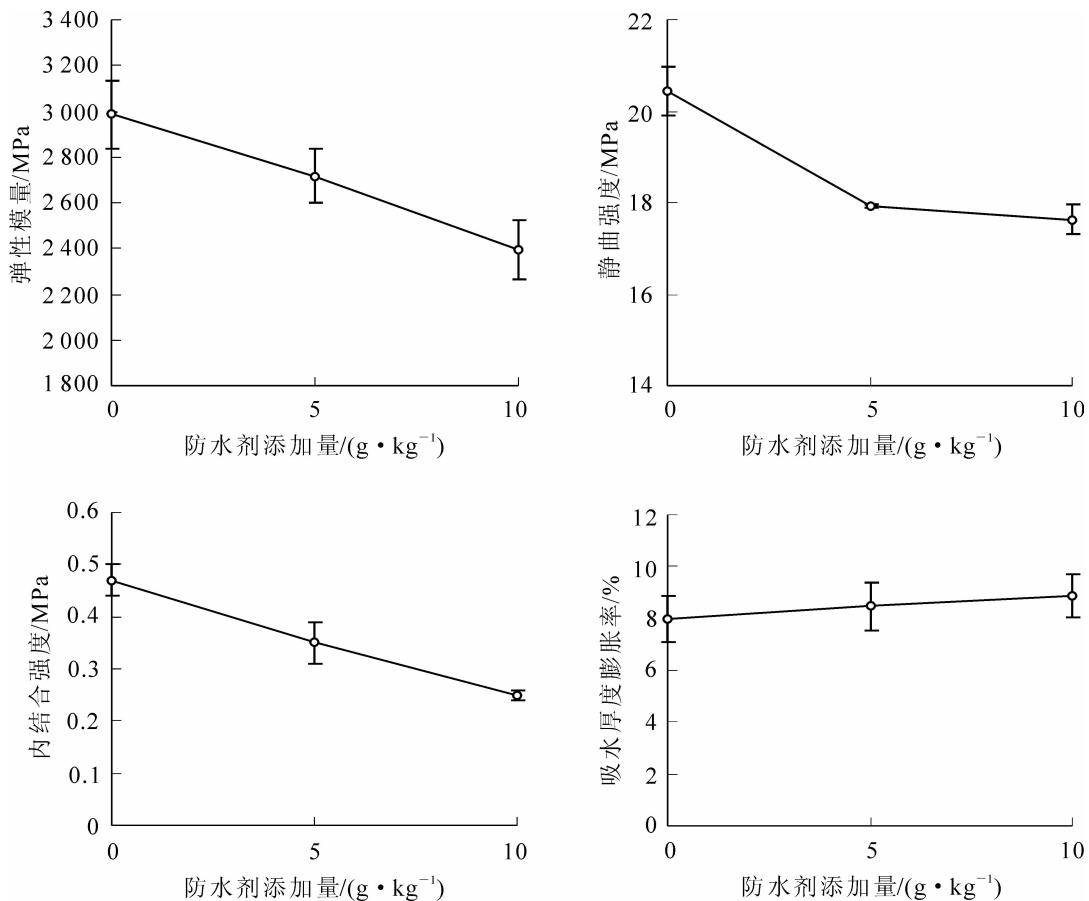


图5 防水剂添加量对板材性能的影响

Figure 5 Effect of the waterproofing agent addition on the properties of reed particleboard

随着防水剂添加量的增加，板材的静曲强度、内结合强度和弹性模量值呈下降趋势，吸水厚度膨胀率呈上升趋势。这是因为芦苇茎秆中二氧化硅的质量分数约 $20.0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，相当于添加 $20.0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的防水剂，若再添加防水剂，导致防水剂添加过量，过量的防水剂阻碍了脲醛树脂胶黏剂浸润芦苇刨花，使得刨花之间胶合作用降低，表现在内结合强度明显降低，导致芦苇刨花板的静曲强度和弹性模量下降和吸水厚度膨胀率值增加。濮安彬等^[11]在施胶量为 $140.0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，密度为 $0.80 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ，另外添加 $10.0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的防水剂的条件下研制芦苇刨花板，所制得的产品内结合强度较差，不能达到国家标准要求，也正是由于这个原因。综上所述，芦苇刨花表皮中的硅物质具有防水作用，因此在刨花板生产中不需要添加任何

防水剂,既可以降低生产成本,同时板的物理力学性能也能达到国家标准的要求。

3 结论

芦苇茎秆表皮的颗粒状物分布较均匀,角质层和蜡质层呈胶状覆盖在茎秆及颗粒状物的外表面上,影响胶接性能,茎秆硅质量分数较高,达到 $20.9 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。芦苇茎秆表面接触角是动态的,随时间逐渐减小;芦苇的润湿性介于木材与麦秸秆之间,其中芦苇茎秆内表面润湿性好于外表面,下部润湿性好于上部。生产过程中芦苇刨花均匀地分散在板坯里,而刨花表皮中的硅物质可以起到防水作用,因此,在不添加防水剂的条件下制得的刨花板性能达到国家标准要求;若另外再添加防水剂,导致防水剂过量,阻碍胶合作用,板材的物理力学性能下降,这与濮安彬等^[5]的研究结果一致。

参考文献:

- [1] 王振庆,王丽娜,吴大千,等.中国芦苇研究现状与趋势[J].山东林业科技,2006(6):85.
WANG Zhenqing, WANG Li'na, WU Daqian, *et al.* The actuality and trend in the study of *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. in China [J]. *J Shandong For Sci Technol*, 2006 (6): 85.
- [2] 詹怀宇.我国造纸用非木材纤维和废纸原料供应与利用[J].中国造纸,2010,29(8):56-64.
ZHAN Huaiyu. Supply and utilization of non-wood fibers and waste papers in China's paper industry [J]. *China Pulp & Paper*, 2010, 29 (8): 56 - 64.
- [3] 韩广萍,王戈,刘振国.芦苇特性与芦苇刨花板制板工艺关系的研究[J].建筑人造板,1995(3):7.
HAN Guangping, WANG Ge, LIU Zhenguo. Study on relationship between reed characters and the manufacture technique of reed particleboard [J]. *Build Art Board*, 1995 (3): 7.
- [4] HAN Guangping, ZHANG Changwu, ZHANG Dongmei, *et al.* Upgrading of urea formaldehyde-bonded reed and wheat straw particleboards using silane coupling agents [J]. *J Wood Sci*, 44: 282 - 286.
- [5] 濮安彬,陆仁书,艾军.异氰酸酯胶芦苇刨花板生产工艺研究[J].木材工业,1997,11(2):3-10.
PU Anbin, LU Renshu, AI Jun. Study on manufacturing technique of reed particleboard bonded with diisocyanate resin [J]. *China Wood Ind*, 1997, 11 (2): 3 - 10.
- [6] 张耀丽,徐永吉,胡兴焕.苏里南木材二氧化硅含量的测定方法[J].林业科技开发,2002(4):15-17.
ZHANG Yaoli, XU Yongji, HU Xinghuan. The test method of silica content of commercial woods of Surinam [J]. *China For Sci Technol*, 2002 (4): 15 - 17.
- [7] 吴章康,周定国.稻草原料表面特性 FTIR 和 XPS 分析[J].木材工业,2003,17(6):6-8.
WU Zhangkang, ZHOU Dingguo. Surface characterization of rice straw and its fibers by FTIR and XPS [J]. *China Wood Ind*, 2003, 17 (6): 6 - 8.
- [8] 隋淑娟,邱坚,李坚.木材-纳米 SiO₂ 气凝胶复合材料结构的 FTIR 表征 [J].东北林业大学学报,2006,34(5):49-50.
SUI Shujuan, QIU Jian, LI Jian. Characterization of chemical structure of wood-nano-SiO₂ aero gel composites by FTIR [J]. *J Northeast For Univ*, 2006, 34 (5): 49 - 50.
- [9] 连海兰,周定国,尤纪雪.麦秸秆成分剖析及其胶合性能的研究[J].林产化学与工业,2005,25(1):69-71.
LIAN Hailan, ZHOU Dingguo, YOU Jixue. Studies on layer composites of wheat stalk and their adhesion properties [J]. *Chem Ind For Prod*, 2005, 25 (1): 69 - 71.
- [10] 宣玲,邓玉和,冯谦,等.有机硅对石膏刨花板性能的影响[J].林产工业,2006,33(9):23-26.
XUAN Ling, DENG Yuhe, FENG Qian, *et al.* Effects of organosilicon waterproofing agent on the properties of gypsum particleboard [J]. *China For Prod Ind*, 2006, 33 (9): 23 - 26.
- [11] 濮安彬,陆仁书,李明.芦苇-杨木刨花板制造工艺研究[J].林产工业,1996,23(2):1-4.
PU Anbin, LU Renshu, LI Ming. Study on the manufacture technique of reed-poplar particleboard [J]. *China For Prod Ind*, 1996, 23 (2): 1 - 4.