

## 利用西米树纤维材料制作可降解生物质板材

徐福东<sup>1,2</sup>, 王秀仑<sup>1,2\*</sup>

(1. 安徽农业大学工学院, 合肥 230036; 2. 三重大学大学院生物资源研究科, 日本津市 514-8507)

**摘要:** 使用压制过淀粉后残余的西米树干材料, 在不添加黏合剂的条件下, 使用热压成型方法制作自然降解的环保材料—生物质板材, 以替代市场上使用的胶合类含甲醛的建筑和包装材料。通过对材料浸泡, 磨解, 使用 110 °C 高温压制板材。通过拉伸弯曲试验, 测定板材的弯曲和拉伸强度。试验结果表明, 压力为 3.5 MPa 时板材的弯曲拉伸强度最高, 抗弯强度为 51.38 MPa, 抗拉强度为 34.20 MPa, 含水率不高于 9.65%。使用西米树干材料压制的板材不添加任何化学元素, 强度高, 含水率适中, 在包装, 建筑, 可降解环保材料方面有很好的应用前景。

**关键词:** 西米树; 生物质板材; 力学强度; 含水率

中图分类号: TS653.6

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2018)01-0075-06

### Production of biodegradable biomass board using sago fiber material

XU Fudong<sup>1,2</sup>, WANG Xiulun<sup>1,2</sup>

(1. School of Engineering, Anhui Agricultural University, Hefei 230036; 2. Faculty of Bioresources, Mie University, Tsu, Japan 514-8507)

**Abstract:** The purpose of this study was to produce biomass board using the residue of sago material without adding adhesives. The material was soaked and grinded before it was pressed to a biomass board. The mechanical properties of the biomass board were measured by tensile and bending tests and the strength of the biomass board should meet the national standards. The result showed that the best bending strength was 51.38 MPa, the tensile strength was 34.20 Mpa, and the moisture content was not higher than 9.65% when the pressure was 3.5 MPa. The strength and moisture content of the biomass board met the national standards for several composite panels.

**Key words:** sago; biomass board; mechanical strength; moisture content

在农作物产品加工的同时会产生大量的农业剩余物, 这些农业剩余物大部分被直接丢弃, 只有少部分农业剩余物被还田掩埋, 经过微生物的自然处理, 发酵后直接作为肥料。但是由于种类和成分不同, 绝大部分农业剩余物因为没有有效的处理方法, 被直接焚烧, 而焚烧农业剩余物产生的烟雾严重污染了环境, 造成了大气污染。大气污染如果不能及时有效治理, 造成的雾霾会危害人类健康, 同时浓雾也影响交通出行, 影响了正常生活。所以如何合理高效的利用农业剩余物是 21 世纪各个国家都很关注和亟待研究解决的。生物质材料此时进入人们的视野, 并被高度关注<sup>[1]</sup>。

生物质材料是指由动物、植物和微生物等生命体衍生得到的材料, 其主要是由有机高分子物质组

成的, 生物质材料在化学成分上主要是由碳、氢、氧组成, 由于是由动物、植物以及微生物等生命衍生物得到的, 生物质材料容易被自然界的微生物降解成为水、CO<sub>2</sub> 以及其他小分子等。其产物能再次加入自然界循环中, 因此生物质材料具备的重要特征为可再生和可降解<sup>[2]</sup>。

20 世纪初国外已经开始利用非木材植物原料制造人造板, 发展非木材植物人造板材, 国内外已积累了一定的经验, 产品质量不断提高, 品种不断增加, 新的原料也在不断被挖掘。实践证明, 生产生物质板材具有明显的经济效益, 社会效益及生态效益, 而且在发挥这三大效益中, 尚有巨大的潜力可挖<sup>[3]</sup>。

西米树在全世界的生长面积大约有 250 万 hm<sup>2</sup>,

收稿日期: 2017-06-06

基金项目: 农作物秸秆生产可降解板材关键技术研究 and 2016 安徽省领军人才重点项目共同资助。

作者简介: 徐福东, 硕士研究生。E-mail: 398826199@qq.com

\* 通信作者: 王秀仑, 教授, 博士生导师。E-mail: wang@bio.mie-u.ac.jp

其中自然生长的有 225 万  $\text{hm}^2$ , 人工种植的约有 22.4 万  $\text{hm}^2$ , 每年提取淀粉后西米树纤维大约有 70 万 t, 因此西米椰子树纤维是一种产量大、易获取的天然生物质材料<sup>[4]</sup>。

目前已经有研究者使用水稻秸秆<sup>[5]</sup>, 玉米秸秆<sup>[6]</sup>等材料制作生物质板材。本研究以西米树纤维为材料, 不使用任何添加剂制作生物质板材, 其制作出的生物质板材强度高, 含水率适中, 且不含任何甲醛, 对环境没有污染。

## 1 供试材料

西米树 (*Metroxylon sagu*), 主要生长在东南亚地区, 其中 80% 的西米树生长在印度尼西亚, 西米树是世界上树干含淀粉最多的植物。西米树树干提取淀粉后的剩余物残渣用在纤维工业中, 提取纤维, 也可以用于造纸, 其中 23% 用于工业原料的利用中。但是每年还是有大量的剩余物残渣被当作废物抛弃, 大约占残渣总量的 60%。提取过程中西米树的树皮可以用做燃料和住宅用的建筑材料, 其中包括墙壁、屋檐、栅栏和床等<sup>[7]</sup>。

## 2 试验方法

### 2.1 生物质板材的成型的原理

生物质热压成型技术是生物质能利用技术的一个重要方面, 各种生物质中都含有一定量的木质素, 木质素在加热条件下可软化、液化, 并具有相当的黏着强度, 生物质热压技术就是利用木质素的这一特点, 在加热的条件下, 通过机械的方式给生物质施加适当的压力, 将松散的生物质压制成具有一定形状, 较大密度的材料<sup>[8]</sup>。本试验利用稻壳纤维和西米椰子树纤维, 在有水存在的条件下, 通过同时施加压力和热量的方法, 使纤维素分子之间脱水形

成氢键, 纤维素分子进行重新的结合<sup>[9]</sup>。通过纤维素分子之间的结合, 压制成具有一定形状及强度的生物质板材<sup>[10]</sup>。

### 2.2 试验使用设备

(1) 模具 A, 外尺寸为 140 mm × 140 mm × 50 mm 立方体, 内尺寸为 100 mm × 100 mm × 40 mm 镂空立方体, 该模具底部有利于压制生物质板材过程中可以排出水分的直径为 6 mm 的气孔, A 模具底部 4 个直径为 6 mm 的 4 个通孔与模具 D 板材取出装置配合使用, 利于取出板材。

(2) 模具 B, 尺寸为 100 mm × 100 mm × 3 mm 的铝制板材, 其排气孔与模具 A 的排气孔尺寸位置相对应, 有利于压制过程中水分的排出。

(3) 模具 C, 尺寸为 100 mm × 100 mm × 20 mm 铜块, 其排气孔与模具 A, 模具 B 的排气孔尺寸位置相对应, 有利于压制过程中水分的排出。

(4) 模具 D, 尺寸为 129 mm × 127 mm × 9 mm, 其中 4 个直径为 6 mm 的圆柱与模具 A 上 4 个直径为 6 mm 的配合使用, 可以顺利取出压制完成的生物质板材。模具如图 1 所示。

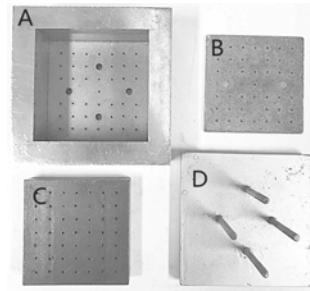


图 1 压制板材模具

Figure 1 The board mold for pressing

### 2.3 试验步骤

生物质板材的试验步骤如表 1 所示。

表 1 试验步骤

Table 1 Experimental steps

| 序号 No. | 试验步骤名称 Step | 试验方法 Method               | 目的 Purpose    |
|--------|-------------|---------------------------|---------------|
| 1      | 清洗 Clean    | 清洗材料                      | 去除材料以外的杂质     |
| 2      | 浸泡 Soap     | 将材料在室温清水中浸泡 72 h          | 使材料纤维软化, 利于磨解 |
| 3      | 磨解 Grind    | 使用磨解机磨解 5 min             | 获得所需要的一定长度的纤维 |
| 4      | 热压 Pressure | 使用热压机通过改变温度和压力压制所需要的生物质板材 | 压制纤维制成板材      |

## 3 西米树干制生物质板材物理参数及生物质板材力学性能

### 3.1 西米树干材料压制生物质板材

通过对试验材料西米树干的浸泡、磨解、热压

工艺, 采用相同温度, 不同的 5 个压强, 得到 5 张压制成功的生物质板材。西米树干的热压材料使用量, 热压温度, 热压压强, 热压时间参数如表 2 所示。使用西米树干材料压制成功的生物质板材如图 2 所示。使用西米树干材料 300 mL 在压制温度为

110℃的条件下压制五张压制压力分别为 2、3.5、5、6.5 和 8 MPa 的生物质板材, 根据压制压力的从低到高, 分别将 5 张压制成功的生物质板材记作 A 板、B 板、C 板、D 板和 E 板。使用相同量 300 mL 压

制的板材, 压制出的板材质量各不相同, 这是因为压制板材的纤维在压制前为悬浊液, 纤维分布和纤维方向不可控制, 所以密度各不相同。

表 2 西米树干热压参数  
Table 2 Sago hot pressing parameters

| 项目<br>Item         | 板材编号 No. |       |       |      |       |
|--------------------|----------|-------|-------|------|-------|
|                    | A        | B     | C     | D    | E     |
| 材料使用量/mL Amount    | 300      | 300   | 300   | 300  | 300   |
| 热压温度/℃ Temperature | 110      | 110   | 110   | 110  | 110   |
| 热压压强/MPa Pressure  | 2        | 3.5   | 5     | 6.5  | 8     |
| 热压时间/h Time        | 2        | 2     | 2     | 2    | 2     |
| 质量/g Weight        | 15.98    | 12.59 | 12.53 | 9.75 | 11.57 |

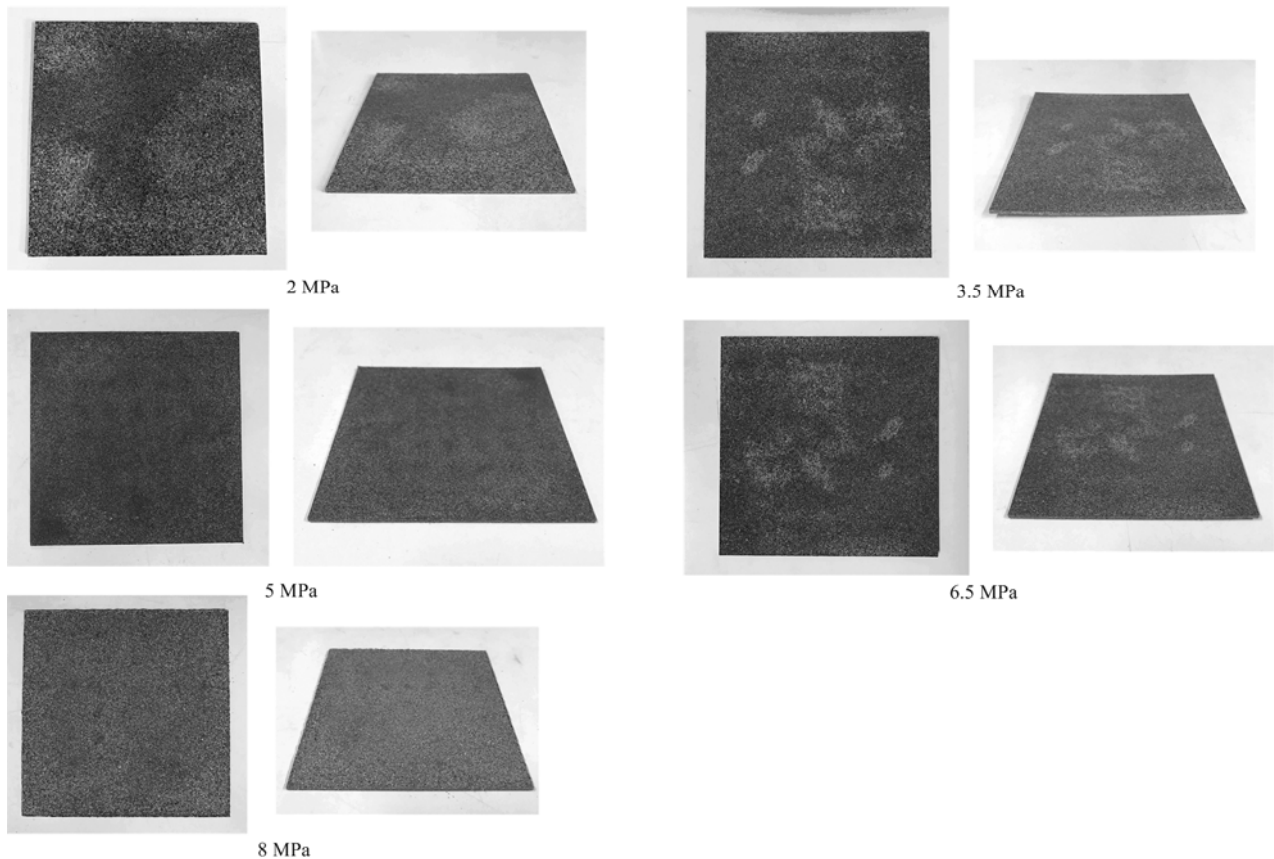


图 2 5 种不同压强下压制的生物质板材  
Figure 2 Biomass sheet pressed at five different pressures

### 3.2 板材的物理参数

热压压制成功的板材, 首先进行板材的重量  $M$ , 长度  $L$ , 宽度  $D$ , 厚度  $H$ , 其中一块生物质板材, 分别测量 3 个位置不同的长度  $L_1$ 、 $L_2$  和  $L_3$  求其长度的平均值, 其宽度  $D$  测量其 3 个位置的不同长度  $D_1$ 、 $D_2$  和  $D_3$  求其平均值。因为使用西米树干材质压制成功的板材属于非均质材料, 所以在压制成功的板材的厚度  $H$  测量上取 8 个点进行测量, 同一压

强下的板材在计算 8 个不同数值的密度后求平均值。这样可以尽量减小由于板材的非均质而导致的测量数据与板材实际数据的偏差, 减小误差。

通过图 3 的 5 块板材密度柱状图可以看出, 在相同温度 110℃下, 随着试验压强的逐步增加, 生物质板材的密度变化很小, 5 块板材的密度最低为  $1.141 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ , 密度最高为  $1.251 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ , 西米树干纤维压制的生物质板材的密度没有随着压

强的增加而增加,密度与压强不成比例关系,而是稳定在  $1.141 \times 10^3 \sim 1.251 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  之间,因此可以得出,利用西米树干纤维压制成的生物质板材,在压制温度为  $110^\circ\text{C}$  的条件下,其板材的密度基本不受压制过程中所施加的压强的影响,这种板材的密度比较稳定。

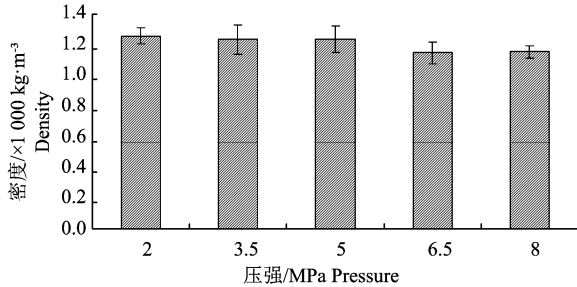


图 3 5 块板材密度柱状图

Figure 3 Density histogram

### 3.3 生物质板材的

使用超声波切割刀对板材进行切割,获得力学试验片。一张板材分别切割出弯曲试验片 4 片,拉伸试验片 3 片,使用万能力学试验机对试验片进行拉伸试验,测定其拉伸强度,拉伸试验获得的数据进行处理带入式 (1) 中计算,计算出拉伸试验过程中的试验片的变形位移与试验片拉伸强度的大小关系,并获得试验片拉伸断裂的最大力,即试验片的最大抗拉强度,如图 4 所示。

$$\sigma_t = \frac{W}{bh} \quad (1)$$

$W$ : 力学试验机经验试验获得的拉力,  $b$ : 试验片宽度,  $h$ : 试验片厚度

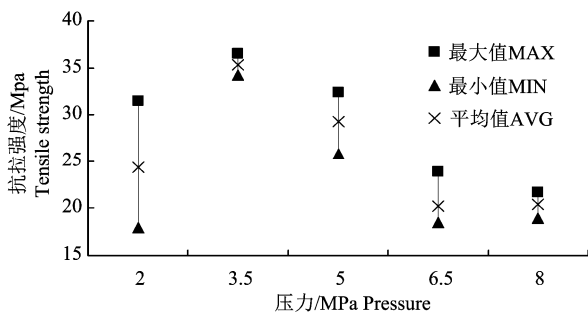


图 4 拉伸强度

Figure 4 Tensile strength

从图 4 中看出在压制温度为  $110^\circ\text{C}$ , 压制压强为 2、3.5、5、6.5 和 8 MPa 等 5 个不同的压制压强下, 压制压强为 3.5 MPa 时, 西米树干压制的生物质板材的最大拉伸强度最高, 平均最大拉伸强度为 34.20 MPa, 随着试验压强的升高, 拉伸强度逐渐降

低, 到 6.5 MPa 和 8 MPa 时平均最大拉伸强度接近相同, 和试验压力为 6.5 MPa 时生物质板材平均最大拉伸强度最低, 为 20.26 MPa。在 5 个压制压强下, 3.5 MPa 压制出的板材最大拉伸强度最高, 明显高于其他 4 个压强压制出的生物质板材, 因此在  $110^\circ\text{C}$  下 5 个压强压制出的板材 3.5 MPa 压制的板材抗拉伸效果最好。

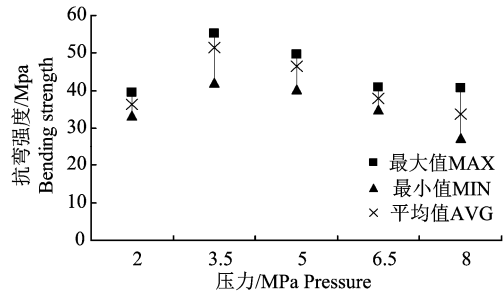


图 5 弯曲强度

Figure 5 Bending strength

### 3.4 生物质板材的弯曲强度

对试验片进行弯曲试验, 一个压强板材进行 4 次弯曲试验, 测定其弯曲强度, 试验过程中弯曲试验获得的数据经过处理带入式 (2) 中计算。生物质板材的弯曲强度如图 5 所示。

$$\sigma_b = \frac{3Wl}{2bh^2} \quad (2)$$

$W$ : 力学试验机经验试验获得的拉力,  $L$ : 34 mm,  $b$ : 试验片宽度,  $h$ : 试验片厚度

从图 5 中看出在压制温度为  $110^\circ\text{C}$ , 压制压强为 2、3.5、5、6.5 和 8 MPa 等 5 个不同的压制压强下, 压制压强为 3.5 MPa 时, 西米树干压制的生物质板材的平均最大弯曲强度最高, 平均最大弯曲强度为 51.38 MPa, 随着试验压强的升高, 弯曲强度逐渐降低, 到 8 MPa 时平均最大弯曲强度最低, 为 33.70 MPa。在 5 个压制压强下, 3.5 MPa 压制出的板材最大弯曲强度最高, 明显高于其他 4 个压强压制出的生物质板材, 因此在  $110^\circ\text{C}$  下 5 个压强压制出的板材 3.5 MPa 压制的板材抗弯曲效果最好。

通过对比分析西米树干压制的生物质板材在 5 个不同压强相同温度  $110^\circ\text{C}$  的压制条件下压制成功的生物质板材的弯曲强度和拉伸强度, 可以看出,  $110^\circ\text{C}$  下 5 个压强压制出的板材 3.5 MPa 压制的板材抗弯曲效果最好, 同时在  $110^\circ\text{C}$  下 5 个压强压制出的板材 3.5 MPa 压制的板材抗拉伸效果最好。在  $110^\circ\text{C}$ , 3.5 MPa 压制下西米树干的综合力学性能是 5 个压强中最好的,  $110^\circ\text{C}$ , 8 MPa 压制下西米树干的综合力学性能是 5 个压强中最差的。在  $110^\circ\text{C}$  下压

制西米树干纤维的板材, 3.5 MPa 可能最为适合。

### 3.5 生物质板材的含水率

本试验压制生物质板材, 主要是通过材料的纤维之间通过脱水形成氢键来增加结合力, 因此压制成功的生物质板材的含水率  $W$  也是测量板材物理性质中必须的一个测量参数。对弯曲试验片和拉伸试验片分别进行含水率测试, 一共测量 5 组含水率。将测量出的结果带入相对含水率公式 3 中计算出样品的相对含水率。

$$W = \frac{M_a - M_b}{M_a - M_c} \quad (3)$$

$M_a$ : 烘干前样品铝盒总重;  $M_b$ : 烘干后样品铝盒总重;  $M_c$ : 铝盒重量

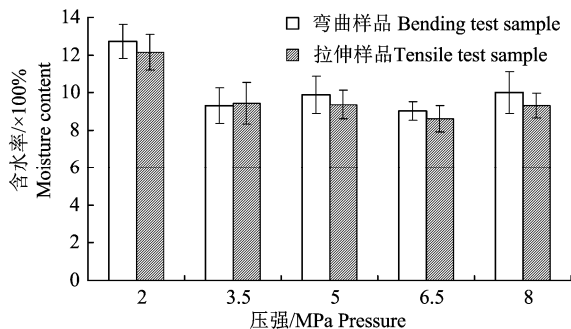


图 6 含水率统计

Figure 6 Moisture content statistics

试验片的含水率统计分析结果(图 6)显示压强为 2 MPa 时, 试验片含水率为 12.7% 和 12.1%, 平均值为 12.40%; 压强为 3.5 MPa 时, 试验片含水率为 9.3% 和 9.4%, 平均值为 9.35%; 压强为 5 MPa 时, 试验片含水率为 9.9% 和 9.4%, 平均值为 9.65%; 压强为 6.5 MPa 时, 试验片含水率为 9.0% 和 8.6%, 平均值为 8.80%; 压强为 8 MPa 时, 试验片含水率为 10.0% 和 9.3%, 平均值为 9.65%。5 种不

同压力下, 同一块板材 2 组测量的含水率相近, 最大差值为 0.7%, 最小差值为 0.1%, 从同一块板材的 2 个含水率可以看出非均质生物质板材的含水率较为稳定, 在 110°C 的条件下压制的生物质板材, 压强为 2 MPa 时, 板材含水率最高, 之后当压强逐渐升高, 板材的含水率基本保持不变, 含水率平均值范围为 8.8%~9.65%, 压强增大对板材的含水率变化基本没有影响, 板材的含水率保持在 8.8%~9.65% 范围内, 并没有随着压强增大含水率逐渐减小。但是西米树干纤维压制的板材, 在 110°C 条件下的含水率相比较其他材料压制的生物质板材, 需要注意含水率偏高的情况。

将板材 A、板材 B、板材 C、板材 D 和板材 E 在相同压强下的弯曲强度、拉伸强度与其含水率进行比较, 在 110°C 的压制条件下, 西米树干纤维压制的生物质板材, 弯曲拉伸强度最高和弯曲拉伸强度最低时, 板材的含水率是相近的, 板材的含水率与弯曲强度, 拉伸强度没有相互影响。

## 4 板材参数与市场上常见人造板材的国家标准参照对比

中密度纤维板: 以木质纤维或者其他木质纤维为原料, 经过纤维制备, 施加合成树脂, 在加热加压情况下, 压制成厚度不小于 1.5 mm, 名义密度范围在 0.60~0.80 之间的板材。中密度纤维板主要分为普通型中密度纤维板, 用于不承重场合, 例如展板、隔墙板。家具型中密度纤维板, 用于家具制造、橱柜制作等<sup>[8]</sup>。承重型中密度纤维板, 用于小型结构部件, 例如室内地面铺设、棚架等。中密度纤维板的国家标准如表 3。

表 3 中密度纤维板国家标准<sup>[9]</sup>

Table 3 National standard for medium density fiberboard

| 中密度纤维板 Medium density fiberboard | 公称厚度范围/mm Nominal thickness range | 静曲强度/MPa Bending strength |
|----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------|
| 普通型 Normal                       | ≥1.5~3.5                          | 27                        |
| 家具型 Furniture                    | ≥1.5~3.5                          | 30                        |
| 承重型 Bearing                      | ≥1.5~3.5                          | 36                        |

表 4 刨花板国家标准<sup>[10]</sup>

Table 4 National standard for particleboard

| 刨花板 Particleboard | 公称厚度范围/mm Nominal thickness range | 静曲强度/MPa Bending strength | 含水率/% Moisture content |
|-------------------|-----------------------------------|---------------------------|------------------------|
| 普通型 Normal        | ≤6                                | 10                        | 3%~13%                 |
| 家具型 Furniture     | ≤6                                | 11                        | 3%~13%                 |
| 承重型 Bearing       | ≤6                                | 13                        | 3%~13%                 |

刨花板：将木材或非木材植物纤维原料加工成刨花或碎料，施加胶黏剂（或其他添加剂），组坯成型并经热压而成的一类人造板材。刨花板主要分为普通型刨花板、家具型刨花板，承载型刨花板<sup>[9]</sup>。刨花板国家标准如表4。

实木复合地板：以实木拼接或者单板为面层，实木条为芯层，单板为底层制成的企口地板和以单板为面层胶合板为基材制成的企口地板<sup>[10]</sup>。以面层树种来确定地板树种名称。实木复合地板的国家标准为：静曲强度 $\geq 26$ ；含水率为3%~15%。

通过对比参考市场上几种常用板材的国家标准，对比分析含水率和静曲强度，使用西米椰子树材料在温度110℃情况下压制的生物质板材在强度和含水率上是符合国家板材的要求的，达到了中密度纤维板、刨花板和实木复合板3种不同板材的国家使用标准<sup>[11]</sup>。可以考虑在工艺上进行加工改进，代替中密度纤维板、刨花板和实木复合板作为新的板材。使用西米树干材料压制生物质板材代替市场上已经使用的人造板材的方法是可行的。

## 5 结论

(1) 外观方面。因为模具的形状是固定的，所以压制成功的板材的形状都是统一的，但是得到的生物质板材颜色有差异。使用西米椰子树材料压制的生物质板材，颜色呈红褐色，表面较为光滑。

(2) 密度方面。在相同温度110℃下，随着试验压强的逐步增加，使用西米椰子树材料压制的生物质板材的密度变化很小，5块板材的密度最低为 $1.141 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ，密度最高为 $1.251 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ，西米树干纤维压制的生物质板材的密度没有随着压强的增加而增加，密度与压强不成比例关系，而是稳定 $1.141 \times 10^3 \sim 1.251 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 之间。板材的密度都大于水的密度。

(3) 力学性能方面。使用西米椰子树材料压制的生物质板材，在压制温度为110℃条件下5个压强压制出的板材3.5 MPa压制的板材抗弯曲效果最好，同时在110℃下5个压强压制出的板材3.5 MPa压制的板材抗拉伸效果最好。在110℃，3.5 MPa压制下西米树干的综合力学性能是5个压强中最好

的，110℃，8 MPa压制下西米树干的综合力学性能是5个压强中最差的。在110℃下压制西米树干纤维的板材，3.5 MPa可能最为适合。

(4) 含水率方面。使用西米椰子树材料压制的生物质板材，含水率高，压强为3.5 MPa时，试验片含水率平均值为9.35%，板材的含水率在相同的温度的情况下，都比较稳定，不会因为压强的增加或减少，含水率产生比较明显的变化。但是使用西米椰子树材料压制的板材，含水率较高，可能会超过某些板材的国家标准。

## 参考文献：

- [1] 冯玉娟, 苏西平, 王林涛. 农业废弃物处理与资源化利用[J]. 环境与生活, 2014(20): 116-118.
- [2] 肖生苓. 木质剩余物轨枕复合技术研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2008.
- [3] 杨越飞, 叶新强, 司琳琳. 非木材植物人造板的发展现状与问题初探[J]. 木材加工机械, 2010, 21(5): 33-36.
- [4] 徐婧. 语料库视野下的现代汉语植物义场代表词义项分布及其对外汉语教学策略研究(一)[D]. 南宁: 广西大学, 2015.
- [5] 张瑾, 王秀仑, 郑泉. 利用水稻秸秆制作可完全降解的生物质板材[J]. 安徽农业大学学报, 2013, 40(6): 1067-1070.
- [6] 吴婷婷, 王秀仑, 姚天曙. 玉米秸秆生物质板材加工工艺研究[J]. 信息系统工程, 2011(2): 98-100.
- [7] The Society of Sago Palm Studies. The sago palm: the food and environmental challenges of the 21st century[M]. Kyoto: Kyoto University Press, 2015.
- [8] 段宇. 生物质料物理压缩成型参数优化研究[D]. 保定: 华北电力大学, 2010.
- [9] 向仕龙. 非木材植物人造板工艺与设备进展[J]. 木材加工机械, 2001, 12(1): 19-21.
- [10] 黎江. 高分子材料在药物制剂中的应用[J]. 化工管理, 2016(20): 50.
- [11] 张明秋, 王金武. 水稻秸秆还田研究现状 [C]//中国农业工程学会. 2007年中国农业工程学会学术年会论文摘要集, 大庆, 2007.
- [12] 中华人民共和国国家技术监督局. 中密度纤维板: GB/T11718-2009 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [13] 中华人民共和国国家技术监督局. 刨花板: GB/T4897-2015 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.
- [14] 中华人民共和国国家技术监督局. 实木复合板: GB/T18103200 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2000.