

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2015.06.018

# 废棉纤维生物复合材料压缩力学性能的研究<sup>\*</sup>

邱金帆,李国辉,吕鹏飞,张海泉

(江南大学生态纺织教育部重点实验室,江苏无锡 214122)

**摘要:**采用糙皮侧耳真菌的菌丝体来替代传统的化学粘合剂来粘结废棉纤维并通过一定的后加工处理制备质轻环保的废棉纤维生物复合板材,并通过添加废旧烟梗和烟叶作为骨架材料来增强其压缩强度。实验结果表明,添加了不同骨架材料的棉纤维生物复合板抗压载荷和压缩弹性模量都优于废棉纤维生物复合板;厚度为20 mm的废棉纤维生物复合板在合理的压缩范围内的抗压载荷达到12.35 kN,而添加了烟叶和烟梗的废棉纤维生物复合板的抗压载荷分别达到了10.16 kN和27.10 kN;最终制成的三种不同的生物复合材料其压缩弹性模量最高达到22.40 MPa,赋予了该生物复合材料特殊的静态压缩特性。

**关键词:**糙皮侧耳;生物复合;压缩强度;压缩弹性模量;骨架材料

**中图分类号:** TQ327.8    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1001-3539(2015)06-0077-04

## Study on Compression Mechanical Properties of Waste Cotton Fibers Bio-Composites

Qiu Jinfan, Li Guohui, Lyu Pengfei, Zhang Haiquan

(Key Laboratory of Eco-Textile, Ministry of Education, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

**Abstract :** Light and green waste cotton fibers bio-composites were prepared by the use of the mycelium of pleurotus ostreatus to intertwine the waste cotton fibers instead of the traditional chemical adhesives and then certain post processing, and improving its compressive strength by adding waste tobacco leaves and stems as the skeletal materials. The results show that the compressive load and compression modulus of the waste cotton fiber bio-composite panels added with different skeletal materials are better than cotton fiber bio-composite panels. The compressive load of the waste cotton fibers bio-composite panels with the thickness of 20 mm reach 12.35 kN in the reasonable compression range, and the compressive load of the two materials by adding tobacco leaves and stems are up to 10.16 kN and 27.10 kN respectively. The most high compression modulus of the final three different biological composites is 22.40 MPa, which lead to the special static compression characteristics of the materials.

**Keywords :** pleurotus ostreatus ; bio-composite ; compressive load ; compression modulus ; skeletal material

如今中国纺织行业将步入深度转型升级的关键时期和持续低速增长阶段<sup>[1]</sup>,但是当前也面临两大问题:资源短缺和环境污染问题。据统计,我国纺织业每年消耗的棉、麻、化纤等纺织纤维原料达3 500万吨,与此同时,每年在生产环节生产的纺织边角料和家庭废弃的纺织品合计超过2 000万吨,这既造成惊人的浪费,又对环境造成严重污染<sup>[2-3]</sup>。

烟草为茄科烟草属植物,烟梗是烟叶的粗硬烟脉,约占叶重的25%~30%。作为烟叶生产大国,我国每年会有约十万吨的烟梗被废弃<sup>[4]</sup>,且烟叶烟梗中含有一些适合真菌类生长的物质如纤维素、果胶、木质素等<sup>[5-6]</sup>。

为了解决资源浪费和环境污染问题,笔者主要对纺织废料和烟草废料进行再利用,介绍了一种比较新颖的生物复合材料制备方法,即采用真菌的菌

丝体作为粘合剂来替代传统的化学粘合剂将废纺织纤维粘结在一起制备成一种集质轻、环保、保温<sup>[4,7]</sup>等特点于一身纺织废料生物复合材料<sup>[8]</sup>。目前国内外关于纺织废料生物复合材料的研究鲜有报导,所以笔者从纺织废料和烟草废料再利用和变废为宝的角度出发,对目前纺织废料日益累积无法有效解决的问题加以分析,主要对该材料进行了结构分析且对其压缩力学性能进行了一定的理论分析和探讨,并通过添加烟叶烟梗作为骨架材料来对其压缩力学性能进行改善,从而为该材料其它力学性能的探讨提供了一定的理论依据。

<sup>\*</sup> 国家自然科学基金项目(51203064)

联系人:邱金帆,硕士,主要从事纺织废料的应用研究

收稿日期:2015-04-01

## 1 实验部分

### 1.1 主要原材料

废棉纤维:学校纺纱实验室;

糙皮侧耳、平菇菌种:北京北纳创联生物技术研究所;

葡萄糖、琼脂、 $\text{KH}_2\text{PO}_4$ 、 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ :国药集团化学试剂有限公司生产;

麦麸、废弃烟梗和烟叶:市售。

### 1.2 主要设备与仪器

单人超净工作台:SW-CJ-1D型,苏州净化设备有限公司;

生化培养箱:BSP-150型,上海博迅实业有限公司医疗设备厂;

台式恒温振荡器:TS-200B型,上海天呈实验仪器制造有限公司;

立式自动压力蒸汽灭菌锅:致微(厦门)仪器有限公司;

电子天平:EL204型,梅特勒托利多仪器(上海)有限公司;

电热恒温干燥箱:DHG101-3型,上虞市沪越仪器设备厂;

开清棉机:HYFU 218 D型,江阴恒远机械制造有限公司;

梳棉机:AS181型,上海东华大学;

接种钩、试管和三角烧瓶和常用玻璃仪器等实验室:自备;

电子万能试验机:Instron 3385H型,美国Instron公司;

扫描电子显微镜(SEM):SU1510型,日本Hitachi公司。

### 1.3 废棉纤维生物复合材料的制备

废棉纤维生物复合材料的制备过程如下:废纺纤维→混合→梳理→剪切成一定长度→入模→灭菌→真菌培养→接种培养→取样→烘干→纺织废料生物复合板<sup>[9-10]</sup>。

首先将废棉纤维通过开松机和梳棉机进行开松、梳理得到均匀的纤维网,为使棉纤维与菌丝体能混合均匀且包缠紧密,因此将纤维网剪切成一定长度的短纤维以便真菌接种阶段的均匀混合。接着用真菌的液体培养获得均匀的菌丝球。将糙皮侧耳菌种进行活化并扩大培养(液体培养),通过优化得到合适的液体培养基并接种培养得到实验所需要的菌丝球。然后称取一定量的废棉纤维装入模具中,在

无菌条件下对灭过菌的废棉纤维进行接种处理(用接种针进行一定的搅拌混合使培养好的菌丝球尽量比较均匀地分布在棉纤维中),最后将接种好的模具放入生化培养箱静置培养7天并取样烘干,得到最终的纺织废料生物复合材料。该方法制备工艺简单、周期短,最终的产品在自然环境中可生物降解。

### 1.4 性能测试

SEM分析:样品真空喷金,用SEM观察样品的微观结构<sup>[11]</sup>,加速电压5 kV。

静态压缩性能测试:参照GB/T 20467-2006,采用电子万能试验机对三种含有添加不同成分的棉纤维生物复合材料进行压缩性能测试,尺寸大小为100 mm×20 mm,加载速率为10 mm/min,实验温度为25℃。

## 2 结果与讨论

### 2.1 废棉纤维生物复合材料的微观结构形态

图1为废棉纤维生物复合材料在不同放大倍数下的SEM图。

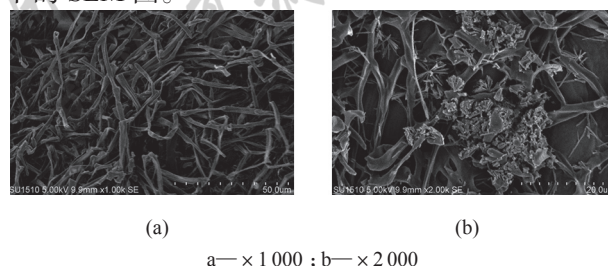


图1 废棉纤维生物复合材料在不同放大倍数下的SEM图

由图1a可以看见,一方面呈纤维状的菌丝体相互缠绕在一起,构成连结棉纤维的连续相,由于菌丝体本身不断生长像树枝一样不断分叉,从而达到锁状联合和紧密缠结棉纤维的效果。另一方面,由于平菇真菌属于木腐生菌类,真菌在生长过程中会分泌多种胞外酶,以棉纤维为生长基体,能将纤维素、半纤维素和木质素等成分分解成单糖或双糖等营养物质,起到一定的粘结作用。由图1b可以清晰地看到,平菇真菌的菌丝体呈花状,较均匀地分布在棉纤维生物复合材料中且这些菌丝体构成网状一层一层地把棉纤维包缠住,赋予了该材料特殊的粘合特点。由于菌丝体本身类似纤维,而且可以明显地从电镜图观察出此种材料存在相对较多的孔洞,所以这种材料类似聚苯乙烯泡沫材料质地相对软,证明该材料具有较低密度的特点<sup>[12]</sup>。

### 2.2 废棉纤维生物复合材料的压缩力学性能理论分析

图2~图4为棉纤维生物复合材料的压缩特征

曲线。将制作好的复合材料裁剪成所需要的尺寸放在电子万能试验机的压头上,设置好对应的参数对其进行压缩处理,所需要的数据从与其连接的电脑上读取。图2是棉纤维生物复合材料在压缩过程中压缩载荷( $F$ )和压缩位移( $h$ )之间的关系曲线,图3是压缩应力( $\sigma$ )与压缩应变( $\epsilon$ )之间的关系曲线,图4是压缩应力关于压缩应变的导数(即压缩弹性模量 $E$ )与压缩应变( $\epsilon$ )之间的关系曲线,各个曲线图之间可以进行相互转换。

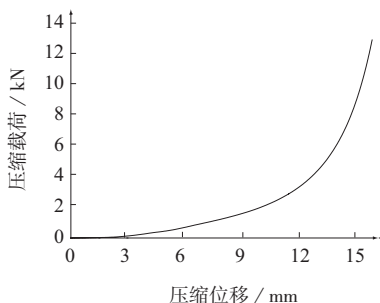


图2 压缩载荷与压缩位移之间的关系

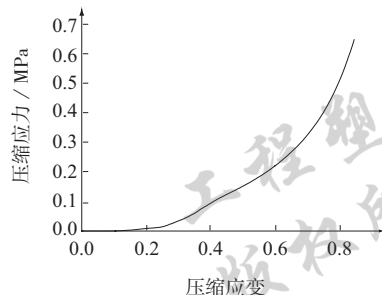


图3 压缩应力与压缩应变之间的关系

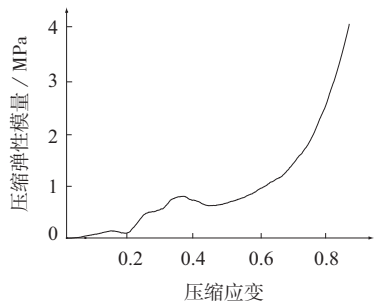


图4 压缩弹性模量与压缩应变之间的关系

由图2~图4可以获得下述压缩曲线的特征值<sup>[13]</sup>:

- 1) 初始压缩弹性模量 $E_0$ ,即在应变( $\epsilon$ )为0.02时的 $\sigma$ - $\epsilon$ 曲线的斜率值。
- 2) 定压强 $\sigma_0$ 或定应变 $\epsilon_0$ 时的压缩弹性模量 $E_{\sigma,\epsilon}$ ,一般指在较高压强或应变下 $\sigma$ - $\epsilon$ 曲线的斜率值。
- 3) 压缩功 $W$ 或压缩比功 $w$ 。由 $F$ - $h$ 曲线下面积求得的功值 $W$ 为压缩功;由 $\sigma$ - $\epsilon$ 曲线下面积求得的 $w$ 值为压缩比功,即

$$W = \int_0^h F dh \quad (1)$$

$$w = \int_0^\epsilon \sigma d\epsilon \quad (2)$$

由以上压缩曲线图可知棉纤维生物复合材料的压缩曲线大致分为三个过程:线性弹性区、“平台”区和“硬化”密实区,每一个阶段都有其各自的变形机理。在线性弹性区,由于起初的应力作用导致材料呈现线性应变,但是此种材料对应的弹性模量不是太高;第二阶段对应的平台区相对较短,纤维与真菌之间的空隙不断被压缩,真菌的菌丝体本身类似纤维其强力不是太好而且与纤维之间结合力也不大,在受压过程中应力随着应变不断变大;最后随着受压强度的增大,材料中的气孔逐渐被压实,只剩下纤维与被破坏的菌丝体导致应力直线上升。

### 2.3 三种不同棉纤维生物复合材料的压缩力学性能的比较分析

图5为未添加、添加烟叶和烟梗的棉纤维生物复合材料的应力-应变曲线,图6为三种生物复合材料的抗压载荷和压缩弹性模量的柱状图。

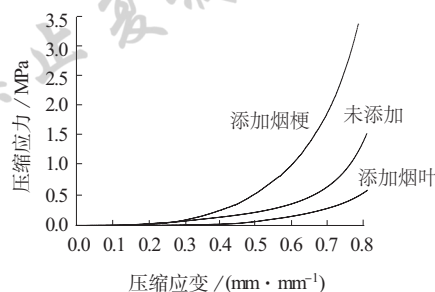


图5 三种棉纤维生物复合材料的压缩曲线

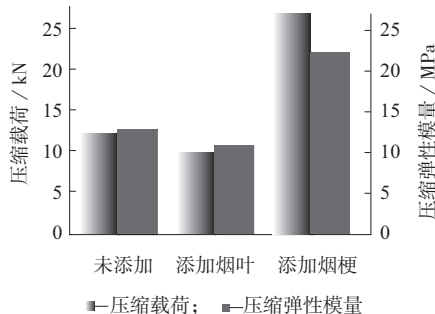


图6 三种棉纤维生物复合材料的压缩性能

由图5可以看到,三种材料的 $\sigma$ - $\epsilon$ 曲线明显不同,但是压缩过程大致可以分为三个区<sup>[14]</sup>:近似线性区、转变区(或滑移变形区)、模量线性增加区,由于菌丝体本身的生长过程无法去控制,其生长的速度及延伸方向也不同,而且与纤维的包缠结合程度都会有不同,这些内部结构的差异会导致三种生物复合材料在压缩过程中的转变区都会有差异,三个曲线对应的相同压缩阶段都会明显表现出自己的

特点。由图6可以得到,厚度为20 mm的棉纤维生物复合板在预定的压缩范围内的抗压载荷达到12.35 kN,而添加了烟叶和烟梗的生物复合板的抗压载荷分别达到了10.16 kN和27.10 kN;最终制成的三种不同的生物复合材料其压缩模量最高达到22.40 MPa。由于添加了烟叶、烟梗作为骨架材料,棉纤维相当于一种填充物质,呈网状的真菌菌丝体作为一种“绿色粘合剂”将纤维与骨架材料紧密的缠绕在一起,共同构成了废棉纤维生物复合材料的特殊结构。

### 3 结论

(1) 利用真菌的菌丝体作为绿色粘合剂来替代传统的化学粘合剂将废棉纤维紧紧的粘合在一起,其中菌丝体作为基体,棉纤维为增强体,共同“生长”出一种质轻环保的棉纤维生物复合材料,该方法制备工艺简单、周期短、成本低廉且制备的废棉纤维生物复合材料具有低密度、无污染和可生物降解特性。

(2) 通过添加烟叶和烟梗作为骨架材料来改善棉纤维生物复合材料的压缩力学性能,添加了烟叶和烟梗的生物复合板的抗压载荷分别达到了10.16 kN和27.10 kN;最终制成的三种不同的生物复合材料其压缩弹性模量最高达到22.40 MPa。

(3) 对纺织废料和烟叶废料的再利用,结合生物培养技术制备得到的废棉纤维生物复合材料具有一定的研究意义,其力学性能有待进一步探讨。

### 参考文献

- [1] 梁瑞丽. 2014行业真相[J]. 中国纺织, 2014(12):26-27.  
Liang Ruili. Business truth in 2014[J]. China Textile, 2014(12):26-27.
- [2] 王中珍, 邢桂燕, 丁吉庆. 废旧纺织品的回收再利用与展望[J]. 山东纺织科技, 2012(4):40-44.  
Wang Zhongzhen, Xing Guiyan, Ding Jiqing. Recycling and reusing industry of waste textiles & development progress[J]. Shandong Textile Science & Technology, 2012(4):40-44.
- [3] Mishra R, Behera B, Militky J. Recycling of textile waste into green composites: Performance characterization[J]. Polymer Composites, 2014, 35(10):1960-1967.
- [4] 白聚川, 董占能, 张皓东. 烟草废弃物的综合利用[J]. 中国野生植物资源, 2008(5):41-43.  
Bai Juchuan, Dong Zhanneng, Zhang Haodong. The comprehensive utilization of the tobacco waste[J]. Chinese Wild Plant Resources, 2008(5):41-43.
- [5] 杜文, 谭新良, 易建华, 等. 用烟叶化学成分进行烟叶质量评价[J]. 中国烟草学报, 2007(3):25-31.  
Du Wen, Tan Xinliang, Yi Jianhua, et al. Evaluation of leaf tobacco quality using chemical composition data[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2007(3):25-31.
- [6] 邓小华, 周清明, 周冀衡, 等. 烟叶质量评价指标间的典型相关分析[J]. 中国烟草学报, 2011, 17(3):17-22.  
Deng Xiaohua, Zhou Qingming, Zhou Jiheng, et al. Canonical correlation analysis between quality evaluating indices of tobacco leaf[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2011, 17(3):17-22.
- [7] Aspiras F F, Manalo J R I. Utilization of textile waste cuttings as building material[J]. Journal of Materials Processing Technology, 1995, 48(1-4):379-384.
- [8] Ana Briga-Sá, David Nascimento, Nuno Teixeira, et al. Textile waste as an alternative thermal insulation building material solution[J]. Construction and Building Materials, 2013, 38(1):155-160.
- [9] 邱金帆, 张海泉. 纺织废料生物复合板的制备及其表征[J]. 工程塑料应用, 2015, 43(1):1-5.  
Qiu Jinfan, Zhang Haiquan. Preparation and characterization of textile waste bio-composite panels[J]. Engineering Plastic Application, 2015, 43(1):1-5.
- [10] 王建青. 废纺织纤维开发汽车用无纺布[J]. 纺织服装周刊, 2008(2):43.  
Wang Jianqing. Waste fibers developing automotive nonwovens[J]. TA Weekly, 2008(2):43.
- [11] Mayoral E. Growing architecture through mycelium and agricultural waste[J]. International Journal of the Constructed Environment, 2011, 1(4):87-132.
- [12] 花兴艳, 赵培仲, 朱金华, 等. 聚氨酯/环氧树脂互穿网络半硬泡沫的压缩力学性能[J]. 塑料工业, 2010, 38(1):58-62.  
Hua Xingyan, Zhao Peizhong, Zhu Jinhua, et al. Compression mechanical properties of PU/ER interpenetrating networks semirigid foams[J]. China Plastic Industry, 2010, 38(1):58-62.
- [13] 严义芳, 陈福北, 张良军, 等. 废聚苯乙烯泡沫塑料回收利用研究进展[J]. 广西轻工业, 2010(3):22-23.  
Yan Yifang, Chen Fubei, Zhang Liangjun, et al. The recycling and reusing of waste polystyrene foamed plastic & development progress[J]. Guangxi Journal of Light Industry, 2010(3):22-23.
- [14] 于伟东, 储才元. 纺织物理[M]. 上海: 东华大学出版社, 2002:71-130.  
Yu Weidong, Chu Caiyuan. Textile physics [M]. Shanghai: Donghua University Press, 2002:71-130.

欢迎订阅《工程塑料应用》杂志