

# 苍耳茎/环氧树脂材料的力学性能研究

马扶宸, 朱智慧, 杜涛, 帕提曼·阿不都, 闫秀玲, 纳森巴特\*, 宋剑斌\*

伊犁师范大学化学与环境科学学院, 新疆普通高等学校天然产物化学与应用重点实验室, 新疆 伊宁

收稿日期: 2023年5月6日; 录用日期: 2023年6月23日; 发布日期: 2023年6月30日

## 摘要

本文采用浇注方法制备了苍耳茎/环氧树脂复合材料, 详细研究了苍耳茎含量对复合材料力学性能和吸水率的影响。实验结果证实: 当苍耳茎含量达到10%时, 环氧树脂复合材料具有最优的力学性能, 此时复合材料的弯曲强度为54.8 MPa, 冲击强度也达到4.615 kJ/m<sup>2</sup>, 拉伸强度和拉伸模量分别达到32.4 MPa和6279.5 MPa。复合材料吸水率最低达到0.929%。这主要是因为苍耳茎粉末与环氧树脂呈现良好的界面性能所致。

## 关键词

苍耳茎, 环氧树脂, 力学性能, 吸水率

# A Study on Mechanical Properties of Xanthium Stem/Epoxy Composites

Fuchen Ma, Zhihui Zhu, Tao Du, Patimanabudu, Xiuling Yan, Nasen Bate\*, Jianbin Song\*

Key Laboratory of Natural Product Chemistry and Application in Xinjiang Higher Education Institutions, Department of Chemistry and Environmental Sciences, Yili Normal University, Yili Xinjiang

Received: May 6<sup>th</sup>, 2023; accepted: Jun. 23<sup>rd</sup>, 2023; published: Jun. 30<sup>th</sup>, 2023

## Abstract

Xanthium sibiricum stem/epoxy resin composite material was produced by using a casting manufacture. The effects of xanthium sibiricum stem on the mechanical properties and water absorption of the composite material were investigated in detail. The experimental results confirmed that when the stem content of Xanthium sibiricum reaches 10%, the epoxy resin composite material has the optimal mechanical properties. At this time, the flexural strength of the composite material is 54.8

\*通讯作者。

文章引用: 马扶宸, 朱智慧, 杜涛, 帕提曼·阿不都, 闫秀玲, 纳森巴特, 宋剑斌. 苍耳茎/环氧树脂材料的力学性能研究[J]. 材料科学, 2023, 13(6): 589-595. DOI: 10.12677/ms.2023.136063

MPa, the impact strength also reaches 4.615 kJ/m<sup>2</sup>, in addition, the tensile strength and modulus reach 32.4 MPa and 6279.5 MPa, respectively. The water absorption rate of composite materials reaches the minimum value of 0.929%. This is mainly due to the good interfacial performance between the powders of xanthium sibiricum stem and epoxy resin.

## Keywords

Xanthium Sibiricum Stem, Epoxy Resin, Mechanical Properties, Water Absorption Rate

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

随着世界各国对环境保护的重视,人们开始重视可降解材料的开发利用。天然纤维增强高分子复合材料就是这一类可降解再生材料。该技术最初出现在美国,并在欧美国家得到迅速发展。我国近些年也大力发展该技术。天然纤维增强高分子复合材料就是利用生物质废料(如木粉、竹粉、麻纤维、秸秆、稻壳等)与高分子树脂混合,通过模压,挤出等工艺制备的一类复合材料。这种材料在运输、装饰装修、景观设计、汽车和能源等方面得到迅速发展[1][2][3][4]。根据所用树脂特点,天然纤维增强高分子复合材料可分为热固性和热塑性复合材料。以酚醛、环氧等热固性树脂制备的复合材料在力学性能、热稳定性、耐磨性等方面优于热塑性木塑复合材料[5]。研究表明少量的剑麻纤维和苧麻纤维就可以提高环氧树脂-混凝土的抗弯拉强度 10.5%和 8.4% [6]。徐贵海采用碱和偶联剂工艺对苧麻/黄麻纤维表面改性,结果发现复合材料弯曲强度和弯曲模量值比未处理的分别提高了 9.13%和 31.6%;且苧麻织物复合材料的弯曲强度和模量高于黄麻增强复合材料[7]。梁春群采用硅烷偶联剂改性竹纤维,所获得的竹纤维增强环氧树脂复合材料的拉伸和冲击强度都得到了明显改善,且竹纤维含量为 20%时,复合材料的力学性能最佳[8]。

苍耳是菊科苍耳属植物,为一种常见的田间杂草,也是一种中药材。其广泛分布于中国、俄罗斯、伊朗、印度、朝鲜等地。苍耳种子可榨油、肥皂、油墨、润滑油等,但大部分苍耳作为杂草除去,并未得到充分利用。为进一步扩大其用途,实现资源有效利用和可持续发展,本文以苍耳茎和环氧树脂制备天然纤维增强复合材料,并对其力学性能和吸水率进行初步研究。到目前为止,尚未见此类研究。

## 2. 实验部分

### 2.1. 原料及仪器

环氧树脂 A, B 胶: 东莞化工复合材料有限公司; 苍耳茎粉末: 新疆本地收集, 自制, 100 目。

万能试验机, UTM-1432s, 承德市金健检测仪器有限公司; 电子简支梁冲击试验机, XJJD-5, 承德市金健检测仪器有限公司。

### 2.2. 环氧树脂复合材料的制备

首先将苍耳茎粉末(100 目)放入 100℃的烘箱中干燥 12 h, 待用。将环氧树脂 A 组分和 B 组分(质量比: 3:1)、放入烧杯中, 剧烈搅拌使其混合均匀, 静止 10 min。将干燥好的苍耳茎粉末倒入盛有环氧树脂的烧杯中, 强烈搅拌使其混合均匀, 然后缓慢倒入硅胶模具中, 室温固化 72 h。苍耳茎/环氧树脂复合材

料成分含量如表 1 所示。

**Table 1.** The mass fraction of Xanthium sibiricum stem/epoxy composites  
**表 1.** 苍耳茎/环氧树脂复合材料组分含量

组分	1	2	3
环氧树脂 A/%	71.25	67.5	63.75
环氧树脂 B/%	23.75	22.5	21.25
苍耳茎粉末/%	5	10	15

### 2.3. 性能测试

力学性能：力学性能：环氧树脂复合材料的冲击强度和弯曲强度按照国家标准 GB/T 1843-2008 和 GB/T 9341-2008 进行测试；弯曲测试和拉伸时速度为 10 mm/min，室温测量；每组测试 5 个，取其平均值。

吸水率：首先将待测试样放入 80℃烘箱中干燥 24 h，取出冷却后称重( $w_1$ )。然后将样品浸入盛满去离子水的烧杯中，浸泡时间为 24 h。试样取出后用干净纸巾擦去表面水分，称重( $w_2$ )。复合材料吸水率(X)根据公式(1)来计算：

$$\text{吸水率} = \frac{w_2 - w_1}{w_1} \times 100\% \quad (1)$$

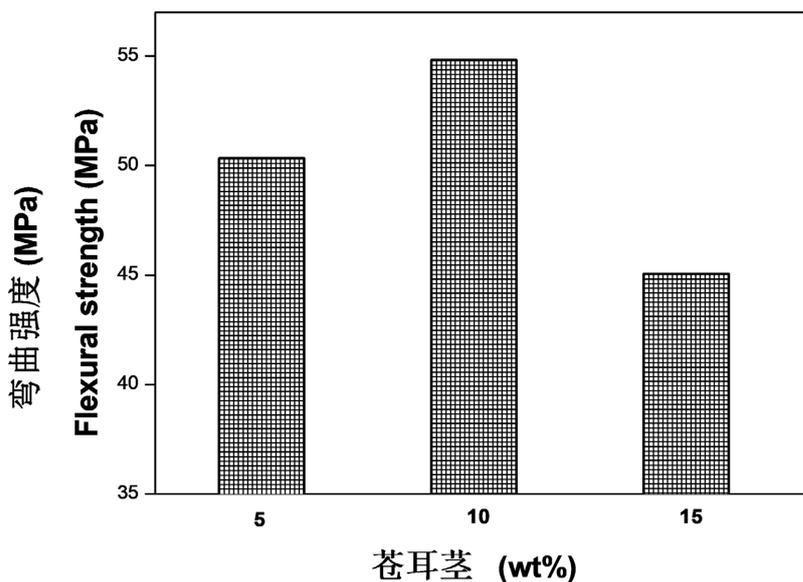
## 3. 结果与讨论

### 3.1. 苍耳茎粉末对复合材料力学性能的影响

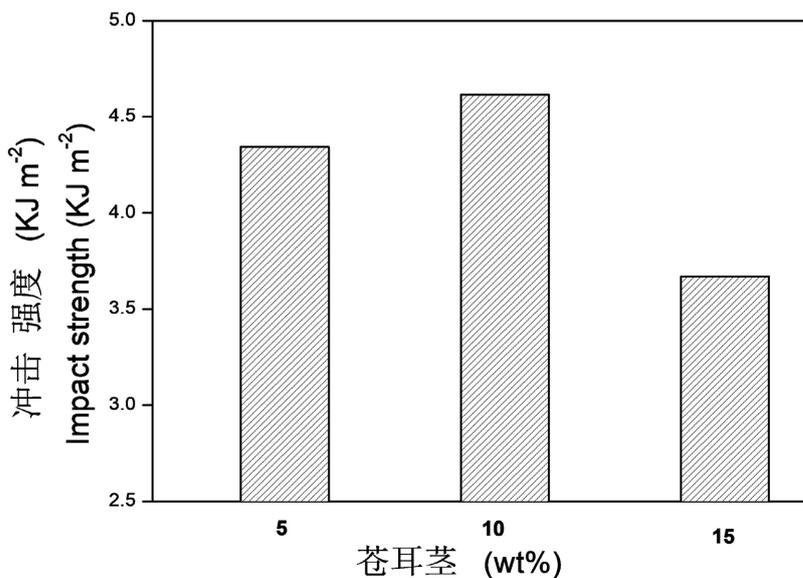
复合材料在应用过程中，首先关注的是其力学性能：弯曲强度，冲击强度和拉伸强度是材料的主要性能参数。图 1 是苍耳茎/环氧树脂复合材料的弯曲强度随苍耳茎粉末含量变化图。不加苍耳茎粉末时，环氧树脂的弯曲强度为 32.2 MPa。随着苍耳茎粉末含量的增加，环氧树脂复合材料的弯曲强度有了很大的改善。当苍耳茎粉末含量达到 5%时，复合材料的弯曲强度达到 50.3 MPa。苍耳茎粉末含量达到 10% 时候，复合材料的弯曲强度达到最大值 54.8 MPa，此后进一步增加苍耳茎粉末含量，复合材料的弯曲强度开始下降。该结果表明苍耳茎粉末与环氧树脂有着良好的界面性能。苍耳茎表面含有大量的羟基基团，可与环氧树脂分子中的羟基基团形成大量的氢键，这些强烈的相互作用有助于复合材料力学性能的改善。但是这些微米级的苍耳茎粉末具有相对较高的比表面积，意味着需要更多的环氧树脂来润湿，因此当苍耳茎粉末含量达到 15%时，环氧树脂显得不足，导致润湿性下降，苍耳茎粉末与环氧树脂的界面状况开始恶化，进而弯曲强度开始下降。

冲击强度是评价复合材料韧性的一个重要指标。韧性好的复合材料具有较高的冲击强度越高。图 2 是苍耳茎/环氧树脂复合材料的冲击强度随苍耳茎粉末含量的变化图。环氧树脂本身作为一种脆性材料，其冲击强度仅为 1.86 kJ/m<sup>2</sup>。由图 2 不难发现苍耳茎复合材料的冲击强度随着添加的苍耳茎粉末含量的增加而增加，并在 10%时，复合材料的冲击强度达到最高值 4.615 kJ/m<sup>2</sup>，提高了 148%。此后，复合材料的冲击强度开始下降，这种情况与弯曲强度变化类似。复合材料韧性的改善与环氧树脂/苍耳茎良好的界面性能有关。原因如下：环氧树脂固化后，原来的环氧基团开环后生成大量的羟基，固化剂也引入了胺基等基团。而植物纤维苍耳茎由纤维素，半纤维素和木质素等组成，其结构上含有许多的羟基，羟基与羟基(胺基)形成了氢键。这些氢键的形成使得苍耳茎与环氧树脂之间的界面性能得到改善。当整个复合材料受到外力作用后，所产生的应力可以在树脂与苍耳茎之间能进行有效的传递和耗散，并引发附近产生银纹，

吸收外界能量, 进而提高了材料的韧性。但是当过多的苍耳茎加入导致苍耳茎粉末不能被树脂充分润湿, 界面性能下降, 此时冲击强度也有所下降。



**Figure 1.** Flexural strength of xanthium sibiricum stem/epoxy composites  
**图 1.** 苍耳茎/环氧树脂复合材料弯曲强度



**Figure 2.** Impact strength of xanthium sibiricum stem/epoxy composites  
**图 2.** 苍耳茎/环氧树脂复合材料冲击强度

图 3 和图 4 是苍耳茎/环氧树脂复合材料拉伸强度和拉伸模量随苍耳茎含量变化图。含有 5% 苍耳茎的复合材料的拉伸强度和拉伸模量分别为 18.7 MPa 和 3980.2 MPa。10% 的复合材料拉伸强度和拉伸模量最高, 分别达到 32.4 MPa 和 6279.5 MPa。此后, 拉伸强度和拉伸模量开始下降, 这与冲击强度和弯曲强度类似。含有 10% 苍耳茎的复合材料拉伸性能最佳, 这主要是因为含有大量羟基的苍耳茎与环氧树脂之间有着良好的相互作用所致。但是过多的添加量导致拉伸性能下降, 这是由于苍耳茎的润湿性能下降,

界面性能变差有关。

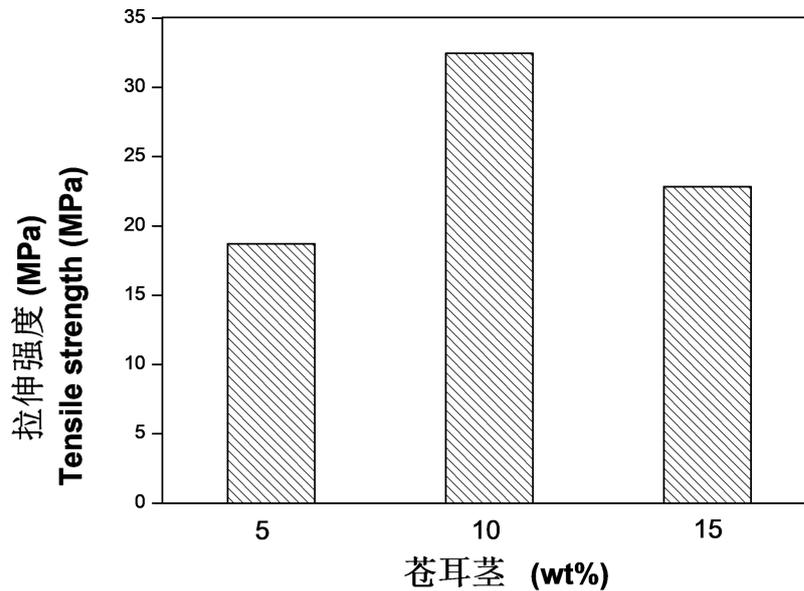


Figure 3. Tensile strength of xanthium sibiricum stem/epoxy composites  
图3. 苍耳茎/环氧树脂复合材料拉伸强度

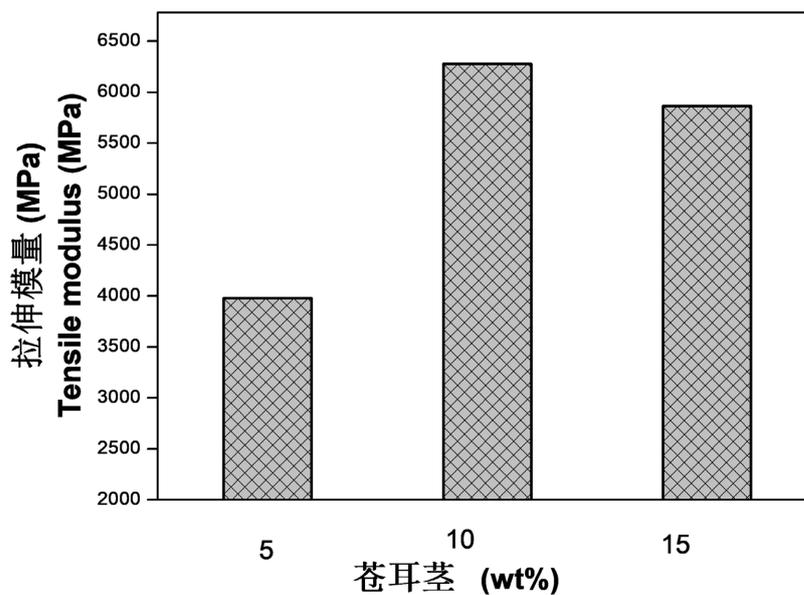


Figure 4. Tensile modulus of xanthium sibiricum stem/epoxy composites  
图4. 苍耳茎/环氧树脂复合材料拉伸模量

### 3.2. 吸水率

吸水率是天然纤维增强复合材料及其制品一个重要性能参数。低的吸水率能保证复合材料力学性能稳定，减少天然纤维霉变几率，从而大大延长复合材料及其制品使用寿命。图5是在不同苍耳茎粉末含量下环氧树脂复合材料吸水率变化图。从图中可以看出，不同含量的苍耳茎复合材料的吸水率随着时间的增加而增加，呈现较好的线性关系。但在相同时间下，环氧树脂复合材料的吸水率并没有随着苍耳茎

粉末含量的增加而增加,而是在 10%含量时候达到最低值。

一般认为天然纤维增强复合材料的吸水率主要是由以下原因导致的。1) 天然纤维本身富含羟基等极性基团,极易吸水,因此纤维含量越高,吸水量越大;2) 在天然纤维增强复合材料中,由于天然纤维与高分子树脂本身界面性能差异导致二者界面结合并不紧密,留有空隙,在吸水测试中必然造成吸水;3) 环氧等热固性树脂在固化过程中由于体积收缩,导致高分子与天然纤维之间间隙进一步加大,这也会导致复合材料吸水率增加。在本文中,当苍耳茎含量达到 10%时,吸水率并没有因为苍耳茎含量增加而增加。这是因为此时环氧树脂与苍耳茎达到最优配比,此时环氧树脂刚好能够完全包覆好苍耳茎粉末,防止其与水接触,这一点可通过弯曲、冲击和拉伸的结果得到间接证明。此后当苍耳茎粉末含量进一步增加时,环氧树脂已不能将苍耳茎粉末覆盖完全,部分苍耳茎裸露,界面变差,因此吸水率继续增加。

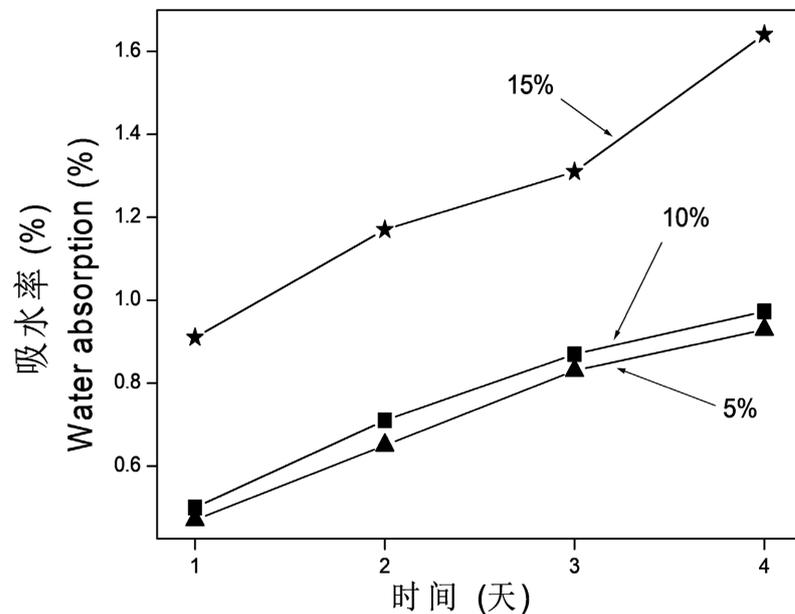


Figure 5. Water absorption of xanthium sibiricum stem/epoxy  
图 5. 苍耳茎/环氧树脂复合材料的吸水率

#### 4. 结论

本试验通过浇注方法和室温固化制备了苍耳茎环氧树脂复合材料,对材料的力学性能和吸水率做了详细分析,获得结果如下:

1) 通过添加苍耳茎植物纤维,环氧树脂复合材料的弯曲强度和冲击强度有了很大提升。含有 10%苍耳茎的环氧树脂复合材料弯曲强度最高(54.8 MPa),冲击强度也达到 4.615 kJ/m<sup>2</sup>,与纯环氧树脂相比,分别提高了 70.2%和 148%。

2) 复合材料的拉伸强度最高值也是出现在含有 10%苍耳茎的复合材料上,此时拉伸强度和拉伸模量分别为 32.4 MPa 和 6279.5 MPa。

3) 通过吸水率测试,发现随着苍耳茎含量增加,环氧树脂复合材料的吸水率在 10%含量时,达到最低值。

#### 基金项目

伊犁师范大学提升学科综合实力专项项目(22XKZZ15)。

## 参考文献

- [1] 潘挺, 贺国文, 李程煌, 钟桐生, 胡拥军, 尹国民. 改性楠竹纤维增强聚丙烯复合材料的制备及其性能[J]. 材料科学, 2018, 8(9): 946-953.
- [2] Nunes, M., Farias, A., Medeiros, E.S., *et al.* (2021) The Effect of Clay Organophilization on Wood Plastic Composite (WPC) Based on Recycled High Density Polyethylene (HDPE) and Coir Fiber. *Progress in Rubber, Plastics and Recycling Technology*, **37**, 394-411. <https://doi.org/10.1177/14777606211019404>
- [3] 梁馨元, 张筱茜, 姜艳霞, 施筱萱, 姜月, 赵悦君, 吴伟东, 杨永晟, 宋剑斌. PLA 对 PBAT/木粉复合材料力学性能影响[J]. 材料科学, 2019, 9(3): 196-201.
- [4] Friedrich, D. (2021) Thermoplastic Moulding of Wood-Polymer Composites (WPC): A Review on Physical and Mechanical Behavior Under Hot-Pressing Technique. *Composite Structures*, **262**, 113649-113649. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2021.113649>
- [5] 吴金勇, 刘丽娜, 傅深渊. 天然纤维环氧复合材料的摩擦学性能研究与应用前景[J]. 化工新型材料, 2020, 48(5): 42-45, 49.
- [6] 潘志伟, 马东鹏, 廖雨田, 等. 天然纤维/环氧树脂-混凝土的力学性能及老化规律天然纤维/环氧树脂-混凝土的力学性能及老化规律[J]. 复合材料学报, 2019(6): 1510-1519.
- [7] 徐贵海, 任子龙, 贾瑞婷, 王春红, 曹文静, 王莹. 苧麻、黄麻织物增强环氧树脂复合材料力学性能的研究[J]. 纤维复合材料, 2015(3): 13-17.
- [8] 梁春群, 莫攸. 竹纤维增强环氧树脂复合材料的力学性能研究[J]. 化工技术与开发, 2010, 39(8): 23-26.