



盐城工业职业技术学院
Yancheng Polytechnic College

学生毕业设计（论文）

院（系）：	纺织服装学院
专 业：	纺织品检验与贸易
班 级：	纺贸 1711
学 生 姓 名：	韩琳
学 生 学 号：	17102005
设计(论文)题目：	蓖麻蚕茧结构及茧丝应用研究
指 导 教 师：	周彬 黄素平
起 迄 日 期：	2019.8.5-2019.12.25

摘要

蓖麻蚕丝是一种纺织新型纤维原料，蓖麻蚕丝纤维具有很好的强伸性能、同时还存在着保暖好、柔软性高等好处。其纤维制作出的服饰，同样受到了广大群众的喜爱。蚕茧的外观结构及茧丝的物质组成结构更是对其物理化学性质有着重要的影响；对茧丝的各项性能指标更是有着直接或间接的影响。不过目前的蓖麻蚕茧丝多数作绢纺原料，用来制作蓖麻绢丝。

为了进一步促进蓖麻蚕茧的开发和应用，本文对蓖麻蚕茧进行基本规格检测，利用电子显微镜、纤维强力仪、YG065H 顶破强力仪、红外光谱仪等一系列仪器对蓖麻蚕茧丝进行基本结构和机械性能研究；通过含胶率对比以及透气透湿性测试、保暖性测试、抗菌性测试等一系列实验对蓖麻蚕茧进行性能研究。研究报告显示蓖麻蚕茧丝纤维结构中的丝胶基本无法将丝素全部包覆，茧丝中的两根丝素微细纤维常常有时结合紧密有时分离，粗细不匀；所以无法承受过多拉力。蓖麻蚕茧丝中丝胶含量约为 8%~13%，丝素含量约为 83%~90%，其中丝素蛋白占蛋白的 80%左右。蚕茧外观同普通家蚕茧不同，蚕茧外观蓬松，茧衣分层多但是整体联系密切，茧丝整体结构复杂，具有较强的强伸性。

本文在对蓖麻蚕茧丝各项性能进行全面检测分析的基础上，对蓖麻蚕茧丝的可纺性进行研究。分析得出蓖麻蚕茧丝单纤维细而比重小，通常用于绢纺，当然也可以运用混纺的方法生产混纺纱作为生产原料。

关键词：蓖麻蚕茧丝；形态结构；机械性能；脱胶；茧丝纺纱设计

ABSTRACT

Eri silk is a kind of new textile fiber raw material being researched by developers. The dry hemp silk fiber has good strength and elongation, and the fiber has the advantage of keeping warm and soft. The clothes made of its fibers are also loved by the masses. The appearance structure of silkworm cocoon and the material composition structure of cocoon silk have important influence on its physical and chemical properties. It has direct or indirect influence on the properties of cocoon filaments. At present, however, most of the castor cocoon silk for silk spinning raw materials, used to produce castor silk.

In order to further promote the development and application of castor cocoon, the basic specifications of the cocoons were tested in this paper. The basic structure and mechanical properties of the cocoons were studied with a series of instruments such as electron microscope, fiber strength meter, YG065H puncture strength meter, infrared spectrometer, etc. A series of experiments were carried out to study the properties of dry linen cocoons, including comparison of gum content, permeability and moisture permeability test, warmth retention test, and antibacterial test. The research report shows that the sericin in the silk fiber structure of silkworm cocoon can hardly cover the silk rope completely, and the two filaments in the cocoon silk are often combined closely and sometimes separated, so they cannot withstand excessive gravity. The sericin content in the cocoon silk of castor bean is about 8%~13%, the silk element content is about 83%~90%, among which the silk element protein accounts for about 80% of the protein. The appearance of silkworm cocoons is different from that of ordinary silkworm cocoons. The appearance of silkworm cocoons is fluffy, the cocoons are layered in many layers, but the overall relationship is close.

In this paper, the spinnability of Eri silkworm silk was studied on the basis of comprehensive testing and analysis of its properties. The analysis shows that the single fiber of castor cocoon silk is fine and the proportion is small, which is usually used for silk spinning.

Key words: castor bean cocoon silk; Morphological structure; Mechanical properties; Degumming; Cocoon and silk spinning design

目 录

第 1 章 引言	1
1.1 概述.....	1
1.2 蓖麻蚕简介.....	1
1.3 蓖麻蚕的利用价值.....	1
1.4 本文研究主要内容.....	2
第 2 章 蚕茧的外观形态和性能研究	3
2.1 蓖麻蚕茧的外观形态.....	3
2.2 蓖麻蚕茧的基本规格.....	4
2.3 蓖麻蚕茧的机械物理性能.....	5
2.4 蓖麻蚕茧的透气性能.....	6
2.5 蓖麻蚕茧的透湿性.....	8
2.6 蓖麻蚕茧的茧热分析.....	9
第 3 章 蓖麻蚕丝纤维的形态结构分析	11
3.1 蓖麻蚕丝纤维的微观形态.....	11
3.2 蓖麻蚕茧丝纤维内表面形态.....	11
3.3 蓖麻蚕丝羽化孔内表面形态.....	12
3.4 蓖麻蚕茧丝截面形态结构.....	13
第 4 章 蓖麻蚕丝的物质组成和性能研究	14
4.1 蓖麻蚕丝纤维的物质组成及化学组成的分析.....	14
4.1.1 蓖麻蚕丝纤维的物质组成.....	14
4.1.2 蓖麻蚕丝纤维的化学组成.....	14
4.2 单纤维物理性能.....	15
4.3 蓖麻蚕茧丝的吸湿放湿性.....	16
4.4 蚕丝的防紫外线性能测试.....	17
4.5 蓖麻蚕丝的抗菌性能测试.....	17
第 5 章 蓖麻蚕不同分层脱胶对比	19

5.1 传统蓖麻蚕丝的脱胶工艺流程.....	19
5.1.1 实验材料与仪器.....	19
5.1.2 实验方案.....	19
5.1.3 脱胶率测定.....	20
5.1.4 实验结果.....	20
5.2 “虹吸”原理测试方法.....	21
5.2.1 实验仪器.....	21
5.2.2 测试方法.....	21
5.2.3 实验结果.....	22
5.3 结果与分析.....	22
第 6 章 21tex 60/40 棉蓖麻茧丝混纺纱设计.....	23
6.1 蓖麻蚕丝的可纺性.....	23
6.2 蓖麻蚕丝与棉混纺纺纱工艺流程与设备选择.....	23
6.3 纱线的工艺设计与参数选择.....	23
6.3.1 梳棉工艺.....	24
6.3.2 并条工艺.....	25
6.3.3 粗纱工艺.....	26
6.3.4 细纱工艺.....	27
6.4 成纱质量检测.....	28
6.4.1 成纱样品.....	28
6.4.2 纱线线密度的检测.....	28
6.4.3 单纱断裂强力检测.....	28
6.4.4 细纱捻度检测,	29
6.4.5 纱线毛羽检测.....	29
第 7 章 总结.....	31
参考文献.....	32
致谢.....	34

第1章 引言

1.1 概述

我国是世界蚕业大国，种桑养蚕的历史悠久泱泱五千年。蚕丝在纺织业的利用和开发越来越多，其纤维蓬松柔软、衣着舒适，整体性能好，具备强伸度好、细而柔软、富有弹性、光泽好、吸湿性好等长处，蚕丝属于高档纺织原料。

蓖麻蚕茧丝是经过几千年的演变，形成的天然非织造材料。目前我国蓖麻蚕业年产量接近十万吨。然而蓖麻蚕作为我国第三大蚕业，人们对它的研究却不多。国内早期的研究主要集中在蓖麻蚕的养殖技术及其应用等方面，国外研究主要是关于蓖麻蚕细胞及基因表达等方面研究。通过查找资料发现，目前蓖麻蚕茧的结构和性能并没有详细的报道。因此对蓖麻蚕进行基本规格测试和各种性能测试研究，通过本篇论文研究有利于增加对蓖麻蚕茧的认识了解，拓展蓖麻蚕茧的应用领域，为蓖麻蚕茧的性能研究和纺纱应用提供进一步的参考。

1.2 蓖麻蚕简介

蚕的种类有接近上百种之多，蓖麻蚕属于野蚕的一种，又被称为木薯蚕或者印度蚕。蓖麻蚕属于一种无滞育期多化性完全变态的鳞翅目昆虫，鳞翅目，大蚕蛾科。蓖麻蚕是世界上第三大蚕，仅次于桑蚕和柞蚕，它只有桑蚕一半的生命周期，但比桑蚕的茧大。蓖麻蚕来源于印度，原本是一种野蚕，生长环境适应性很强；可食蓖麻叶、木薯叶、马松叶和山乌柏叶等，是一种多食性蚕。因此与仅以桑叶为食的小蚕相比，更容易饲养。蓖麻蚕主要在野外生长，现在多由人工野外养殖，也可以室内饲养。我国引进了蓖麻蚕并对其开展了深入的研究工作，蓖麻蚕茧丝的优点很多，被多数人们所喜爱，在我国蓖麻蚕业属于第三大蚕业。

蓖麻蚕结茧后，往往形成串状、葡萄串状结构，单个蚕茧形状多样，呈现中间膨大的纺锤型、枣核状、规则三角形、橄榄形。蚕茧整体显厚，茧衣分层多。茧层各部分厚薄不匀，薄厚松紧前后差异较大，茧层之间松软缺乏弹性。茧两端较小，中间比较膨大，一端留有明显小孔。蚕丝结茧后主要被人们用来做绢纺材料。

1.3 蓖麻蚕的利用价值

虽然商业蓖麻蚕茧的年产量已达数万吨，但对其的研究并不多，由于存在羽化孔和松散的茧结构，导致自己无法利用传统的丝绸设备生产连续丝来开发高档丝绸产品，限制了其应用。早期的研究主要集中在蚕的育种、生物结构、基因序列、性质和应用，近年来研究发现蓖麻蚕产生的蛋白质具有抗菌活性。丝蛋白由于其优异的保湿、抗氧化和抗衰老性能，在化妆品和生物医学等非织造领域得到了广泛的应用。据报道，从野生蚕茧中提取的丝素和丝胶在医疗保健领域的潜力比桑蚕更好。以蓖麻蚕为研究对象，关注了蓖麻蚕的茧层组成、结构和力学性能之间的关系，进行了定量分析和建模，以表征该结构对力学性能的贡献，茧的特殊结构和成分也使其具有优良的温湿度调节和控制。丝胶、丝素蛋白和草酸钙在茧层中分别对 UVA、UVB 和 UVC 有一定的吸附能力。

蚕丝纤维属于天然纤维的一种，质感轻薄，轻盈柔和；其纤维纺制出的成品受到了广大群众的喜爱。蓖麻蚕丝虽被用作为绢纺材料，通过混纺设计改进将蓖麻蚕丝纤维同其他任何纺织原料进行混纺成纱。这样做不仅节约而且有效的降低了原料成本，还使得蓖麻蚕丝纤维和其他纤维的优点性能相结合，优化成纱产品。就目前而言，蓖麻蚕丝无论是在它的产品开发还是纤维的利用方面，都有良好的市场前景。

1.4 本文研究主要内容

- (1) 研究分析蓖麻蚕茧的外观形态和性能；
- (2) 对蓖麻蚕茧丝纤维的形态结构进行分析
- (3) 对蓖麻蚕茧丝的物质组成和性能研究
- (4) 对比分析了蓖麻蚕茧丝的不同分层脱胶情况
- (5) 设计并纺制蓖麻蚕茧丝的混纺设计
- (6) 对成纱的质量检测

第 2 章 蚕茧的外观形态和性能研究

2.1 蓖麻蚕茧的外观形态

蓖麻蚕茧头端留有明显羽化孔，但无茧柄，是蛾子羽化时的出口处。羽化孔处蚕丝交错在一起，没有规律，纤维较其他部位纤维较细。羽化孔呈现不平滑的近似圆形，有星型辐射状态，内部看有明显的皱褶。在孔外有明显的蓬松的蚕丝遮盖。

图 2.1 是蓖麻蚕茧的数字图像。(a)茧形态的多样性；(b)完整的茧；(c)最外层被切开后的茧层；(d)茧的三层（茧衣、茧层和茧衬）和羽化孔。

图 2.1(a-b)显示了完整的蓖麻蚕茧的外观，如纺锤体或枣核，蓖麻蚕茧的外部形状不均匀。

图 2.1(c)表明，剥去茧衣和部分茧层后，茧的空腔形状规则，椭圆形状相似，羽化孔的末端呈辐射状。羽化孔的平均直径约为 2-3mm，附近覆盖着蓬松的蚕丝；羽化孔由于折叠茧衬而呈现不规则的多边形，这可能有助于蛾钻出茧。

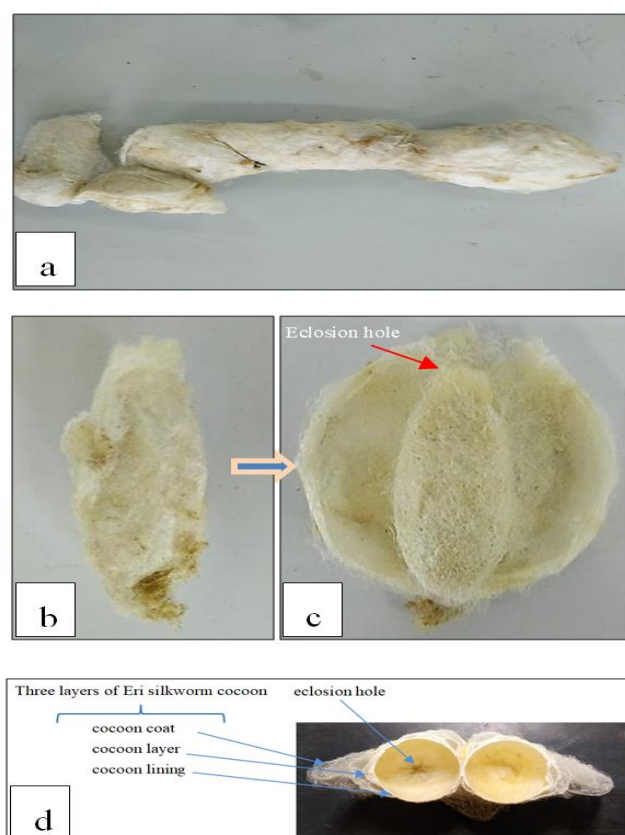


图 2.1 蓖麻蚕茧外观结构图

2.2 蓖麻蚕茧的基本规格

实验仪器：用数字游标卡尺、电子天平、纤维细度分析仪等测量了蓖麻茧的基本规格。织物厚度计(Yg141, 南通)测量每个茧壳的厚度。

设置：压脚面积为 50mm²，压力为 0.2±0.0005kPa。

测试参数见表 2.1、表 2.2

表 2.1 茧的几何参数

类型	重量 (g)	克重(g/m ²)	厚度(mm)	长径 (mm)	短径(mm)
蓖麻蚕	0.38±0.07	202.71±16.38	1.12±0.22	67.27± 0.43	41.13 ± 0.19 22.44 ± 0.19 ^a
桑蚕	0.30±0.02	289.57±36.43	0.39±0.02	31.57± 0.19	19.01± 0.17

^a 茧的横截面是不规则的，因此测量了最长直径和最短直径。

从表 2.1 中可以看出，本研究中使用的蓖麻蚕茧的规格和性能，我们可以看到蓖麻蚕茧的大小和厚度远高于桑蚕茧，但这两个茧的重量大约相同，每平方米的蓖麻蚕茧的重量低于桑蚕茧，这表明蓖麻蚕茧具有相对松散的结构。

表 2.2 三层茧丝的特性

指标	茧衣	茧层	茧衬	整体
厚度(mm)	0.29± 0.03	0.49 ±0.05	0.37 ± 0.04	1.12±0.22
重量(g)	0.08 ± 0.14	0.27 ± 0.05	0.04 ± 0.01	0.38±0.07
纤维细度 (den)	2.13 ± 0.15	2.75 ± 0.29	1.86 ± 0.14	2.63 ± 0.34
	1.94 ± 0.15*	2.35 ± 0.25*	1.77 ± 0.13*	2.27 ± 0.17*
丝胶含量(%)	13.68±0.49	9.64 ± 0.47	5.95 ± 0.30	10.57 ± 0.43
回潮率 (%)	13.16 ± 0.32	12.34 ± 0.31	11.94 ± 0.22	12.71 ± 0.16
	12.52 ± 0.62*	11.94 ± 0.42*	11.17 ± 0.74*	12.14 ± 0.27*

*脱胶前后蚕丝的某些性能有显著性差异，因此也测量了脱胶后纤维细度和回潮率。

蓖麻蚕茧一般分为 5 到 9 层，形成三个部分，即茧衣、茧层和茧衬，其性质有很大的变化，如表 2.2 所示。厚厚的和松散的茧衣在茧的一侧像鳍一样膨胀，约占茧的总重量的 21%，茧衣和茧层没有明显的边界，茧层与茧衣接触松散，但与茧衬接触非常紧密，结构相对紧凑，为幼虫提供了最大的保护。茧衬呈纸状，结构致密，约占茧总重量的 10%，茧衬实际上构成了一个支持幼虫活动的“封闭”型腔，茧层具有较高的丝胶含量和回潮率，但茧层强度高，伸长率低。

通过以上实验实测结构可以得出结论，蓖麻蚕茧结构松散，蚕茧厚度自然状态的缓冲作用强，可以说是具有特殊的防护作用。

2.3 蓖麻蚕茧的机械物理性能

取样方式:将蓖麻蚕茧沿纵向 20° 的方向螺旋切割成宽度为 5mm、长度为 80-100mm 的条状，制备拉伸试验样品(图 2.2)，有效地避免了由于茧本身的弧形结构而导致条带试样不能完全伸直的缺陷。用试样的横截面积和长度分别除以载荷和位移，得到相应的应力-应变曲线。

实验仪器：拉伸测试仪器(YG065，烟台)用于拉伸顶破测试。

设置：所有测试均在标准状态下进行，试样长度为 50mm，速度为 200mm/min。

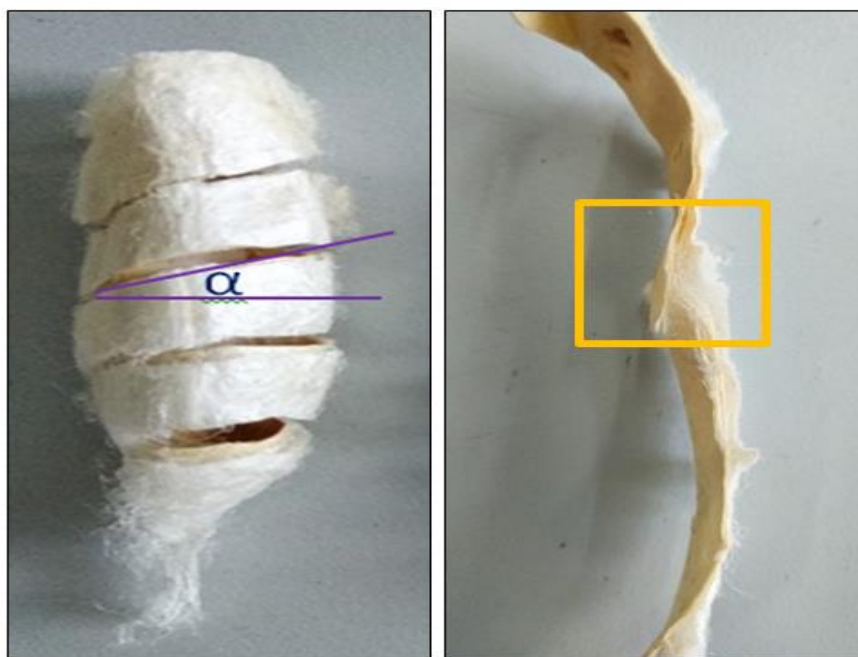


图 2.2 茧壳拉伸破坏后断口及螺旋取样示意图和数字图像

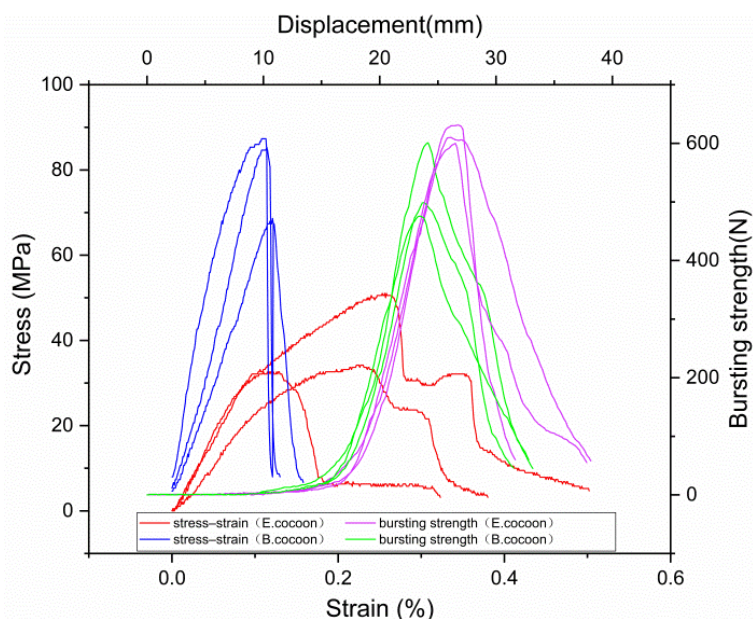


图 2.3 应力-应变曲线（左）和顶破强度曲线(右)

测试结果分析：图 2.3 中给出了从拉伸试验中得到的蓖麻蚕茧(100mm×50mm×1.12mm)和桑蚕茧(100mm×50mm×0.39mm)矩形试样的应力-应变曲线。应力-应变曲线有三个不同的区域：胡克区、屈服区和断裂区。蓖麻蚕茧的平均杨氏模量和应力分别为 $329.10 \pm 66.51 \text{ MPa}$ 、 $44.53 \pm 25.24 \text{ MPa}$ ，明显低于桑蚕茧的平均杨氏模量($738.37 \pm 172.46 \text{ MPa}$ 、 $71.53 \pm 20.18 \text{ MPa}$)，而蓖麻蚕茧的平均伸长率为 $5.26 \pm 1.37\%$ ，约为桑蚕茧的 1.7 倍 ($3.10 \pm 0.63\%$)，茧衬的高模量及其致密结构导致了拉伸过程中明显的断裂时间差异。应力-应变曲线上存在明显的二次断裂现象。茧衬的应力约为茧衣和茧层的 1.5 倍和 1.8 倍，这样大大提高了茧衬的力学性能，对于茧有效地保护蛹是很重要的。蓖麻蚕茧的平均顶破强度和位移约为 $570 \pm 11 \text{ N}$ 和 $27.7 \pm 2 \text{ mm}$ ，分别是桑蚕茧的 1.3 倍和 1.2 倍($475 \pm 51 \text{ N}$ 和 $23.1 \pm 2 \text{ mm}$)，表明蓖麻蚕茧具有较高的能量吸收能力，这是由于蚕丝取向的各向异性分布所致。

2.4 蓖麻蚕茧的透气性能

蓖麻蚕茧壳的透气性影响着蚕茧内的温度稳定性；蚕茧可以通过控制里面的静止空气来达到温度稳定，草酸钙晶体附着在茧丝纤维表面也影响着一些温度控制能力。

试样仪器：YG (B) 461D 透气测试仪；

设置：试样测试面积设置为 5 cm^2 ，压差为 100 MPa ；

脱矿：脱矿是指去除草酸钙而不影响丝胶。

根据 ISO9237 标准，在 YG(B)461D 织物透气性测试仪上测试了蚕茧脱矿前后的透气性，测试面积为 5cm^2 ，压差为 100pa ，最终得到了蚕茧两侧一定压差 (100pa) 下每单位时间通过茧的空气量(L) 试样放置如图 2.4 所示。

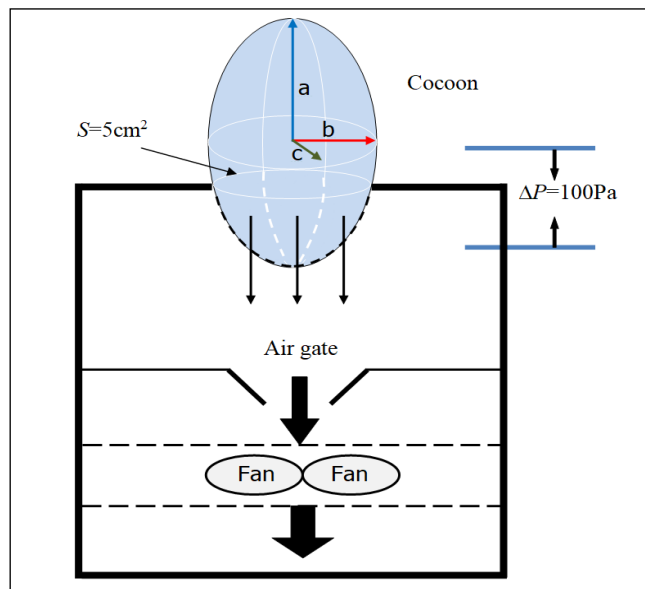


图 2.4 蚕茧透气测试图

茧的内腔是一个近似椭球，三轴的长度分别为 a 、 b 、 c ，整个茧和茧的表面积分别由以下公式确定。

$$S(m^2) = \frac{4}{3}\pi(ab + bc + ac) \quad (2.1)$$

$$S_{\text{test}}(m^2) = \frac{G_{\text{test}}}{G} \frac{4}{3}\pi(ab + bc + ac) \quad (2.2)$$

茧的透气性可从公式中得到如下：

$$APR(mm/s) = \frac{APR_{\text{test}} \times 5}{S_{\text{test}}} = \frac{15APR_{\text{test}} \times G}{4\pi \times G_{\text{test}} \times (ab + bc + ac)} \quad (2.3)$$

式中：APR—茧的透气性真实值，mm/s；

APR_{Test}—茧的透气性测试值，mm/s；

G—整个茧的重量，g；

G_{test}—在仪器上测试的茧的重量，G。

测试结果见图 2.5

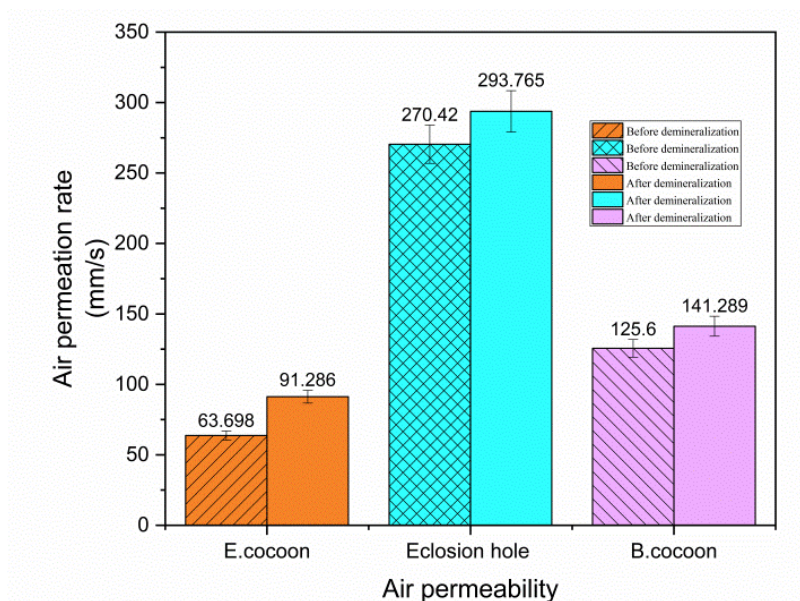


图 2.5 脱矿前后蓖麻蚕茧和桑蚕茧的透气性率值

结果分析：茧是通过控制静态空气达到良好的温度稳定性。透气性在一定程度上反映了茧对静态空气的控制能力。在一定范围内，非织造布材料的透气性越小，保温效果越好。脱矿前蓖麻蚕茧层和羽化孔的透气性分别为 63.698mm/s 和 270.420mm/s，脱矿后茧层和羽化孔的透气性分别达到 91.286mm/s 和 293.765mm/s，表明纤维表面草酸钙晶体会影响其控制能力。草酸钙晶体的存在有助于减少外部空气进入茧。脱矿前后桑蚕茧的透气性分别为 125.6mm/s 和 141.289mm/s，高于蓖麻蚕茧层，低于羽化孔处，脱矿前后桑蚕茧的透气性变化小于蓖麻蚕茧，验证了蓖麻蚕茧中草酸钙含量大于桑蚕茧的含量。

2.5 蓖麻蚕茧的透湿性

实验方法：根据 GB/T 12704—1991《织物透湿量测定方法透湿杯法》进行实验，将吸湿剂放在烘箱中，在 160℃ 温度下烘 3h。放入适量的烘过的吸湿剂到透湿杯中，垫上垫圈，固定试样，盖上盖子，并用胶带将接缝处封住。用电子天平称量试样并记录。设置气流速度为 0.3~0.5mm/s，温度为 38℃，湿度为 90%，分别经过 30min；60min；90min；120min 后取出称重。

透湿杯直径为 80mm 的试样，考虑到蚕茧的尺寸，将蚕茧固定在 PE 薄膜上，有效试验直径为 2cm。

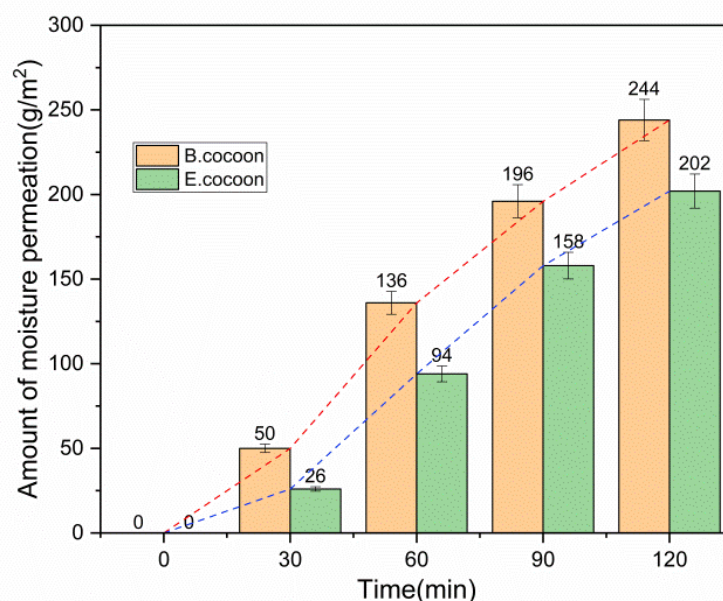


图 2.6 透湿量与时间的关系。

结果分析：从图 2.6 中可以看出。在初始阶段(0-30min)，两个茧的透湿性相对较低，茧层两侧存在湿度差，首先在表面润湿并渗透到孔隙中，冷凝的液态水通过毛细管效应输送到茧的另一侧蒸发成水蒸气，被吸湿剂吸收。在此期间后，水分渗透性趋于稳定，蓖麻蚕茧和桑蚕茧的水分渗透性分别为 $101(\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h})$ 和 $122(\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h})$ ，由于蓖麻蚕茧的多层结构和层间明显的气隙，将存在多个“润湿-渗透-蒸发-吸附”过程，形成良好的缓冲效果。

2.6 蓖麻蚕茧的茧热分析

实验方法：在 Sta449f3 热重分析仪(Netzsch, Selb, 德国)上进行茧材料的热重分析。

设置：升温速率为 $10^\circ\text{C}/\text{min}$ ，氮气流量为 $20\text{ml}/\text{min}$ 。

保温分析：用两个针式温度探头同时测量茧的内外温度。在蓖麻蚕茧测量中，温度探头分别从羽化孔端和另一端放入茧中，在整个实验过程中，温度变化分为两个阶段：上升阶段和下降阶段，对于上升阶段，通过将茧放置在恒温温度设定为 50°C 的烤箱中，逐渐提高温度；对于下降阶段，通过将几乎达到平衡的加热茧从烤箱转移到空气，引入温度的突然下降。

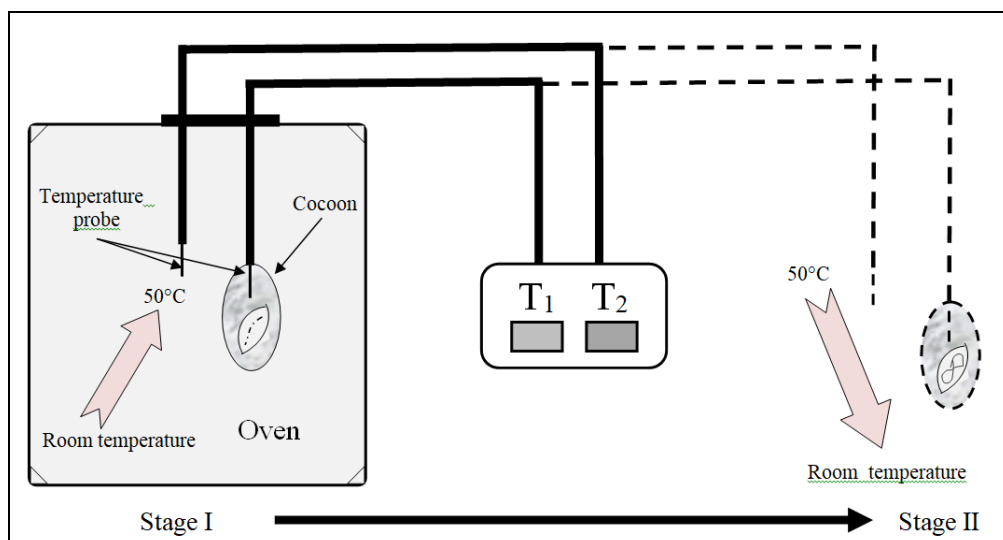


图 2.7 自制茧温绝缘性能测试装置原理图及其测试过程

测试结果见下图 2.8

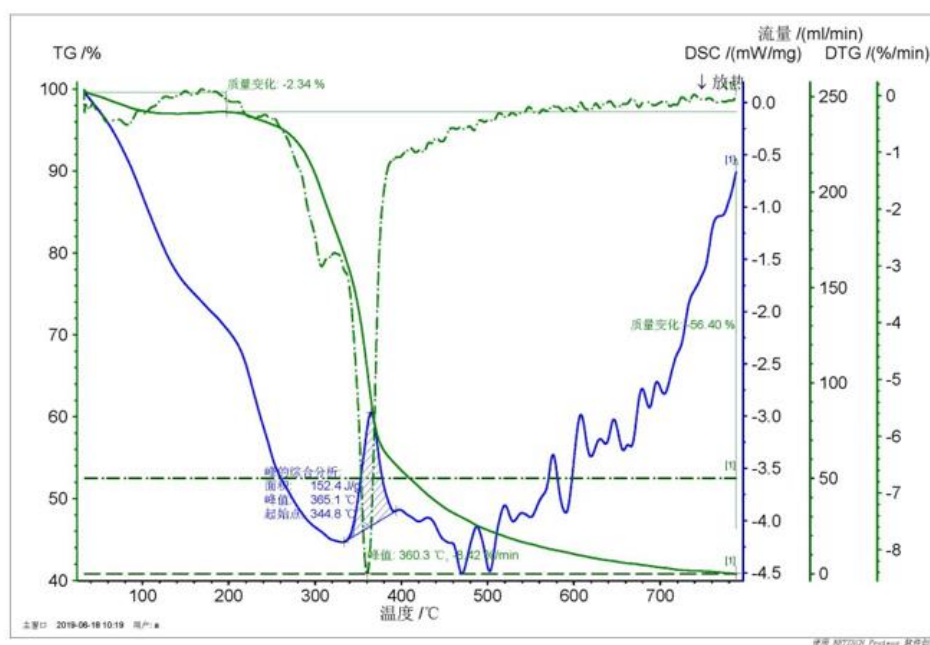


图 2.8 蓖麻蚕茧的茧热分析测试

根据图 2.8 实验结果可以分析出：

TG: 在 210°C 以内，质量变化 2.34% 左右，320~370°C 之间开始明显下降，质量变化 56.4%。蓖麻蚕丝的耐热性略差。

DTG: 蓖麻蚕丝重量变化最快时对应的温度 365.1°C。

第 3 章 蓖麻蚕丝纤维的形态结构分析

3.1 蓖麻蚕丝纤维的微观形态

实验仪器：使用 SU8010 扫描电镜（日立，日本），在 1KV 或 5KV 的电压下，对进行喷金后的蓖麻茧进行形态结构分析。实验通过不同的放大倍数观察蓖麻蚕丝纤维的微观形态结构。

在显微镜的观察下可以观察到，两根丝状并列形成蓖麻蚕丝，丝胶附着在单丝上，但不是全部包裹；茧丝中的两根丝素微细纤维常常有时结合紧密有时分离，交错无规律。蓖麻蚕茧的茧丝横截面呈不规则形状半椭圆形较多，也有少部分呈不规则三角形，如图 3.1 所示。



图 3.1 纤维的微观形态结构

蓖麻蚕茧的单丝是由许多平行于丝轴的原纤组成，原纤大小粗细不匀，留有缝隙。蓖麻蚕丝纤维具有很好的强伸性能、纤维存在保暖柔软性高等好处；且有很好的透气性和吸湿性能。蓖麻蚕茧丝的纤度在 2.6~3.5dtex，但其纤度偏差较大，在 0.827dtex~1.653dtex 之间。蓖麻蚕茧丝不规则截面积形状比家蚕截面积不规则形状偏大，蓖麻蚕茧丝扁平度和圆整度不如家蚕茧丝。蓖麻蚕茧丝的横截面形态特征长径长值 23.72 μm ，短径短值为 12.03 μm ，扁平度为 0.53 μm ，截面积为 213.02 μm^2 。

3.2 蓖麻蚕茧丝纤维内表面形态

通过扫描电镜测试的纤维表面形态如图 3.2 所示：蓖麻蚕茧丝表面杂乱无序的，互相交错在一起，茧丝中的两根丝素微细纤维常常有时结合紧密有时分离，交错无规律。茧丝两根丝状并列形成蓖麻蚕丝，丝胶附着在单丝上，茧丝中的两根丝素微细纤维常常有时结合紧密有时分离，交错无规律。

蓖麻蚕丝表面上分有许多形状不规则的草酸钙晶体，排列无规律。边长在

0.5 μm 左右, 通过图 3.3 发现蓖麻蚕内表面平整光滑, 轻微外力作用无法将其撕扯破坏, 蚕丝呈现“ \times ”型、“ ∞ ”型[1]以等各种不同角度的错综复杂交错在一起, 两根单丝有时结合紧密有时分离, 茧丝含有的草酸钙晶体数量明显少于外表面。

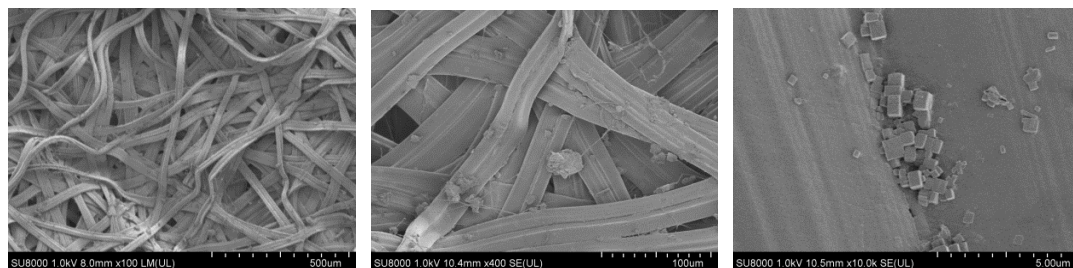


图 3.2 蓖麻蚕茧丝的表面形态

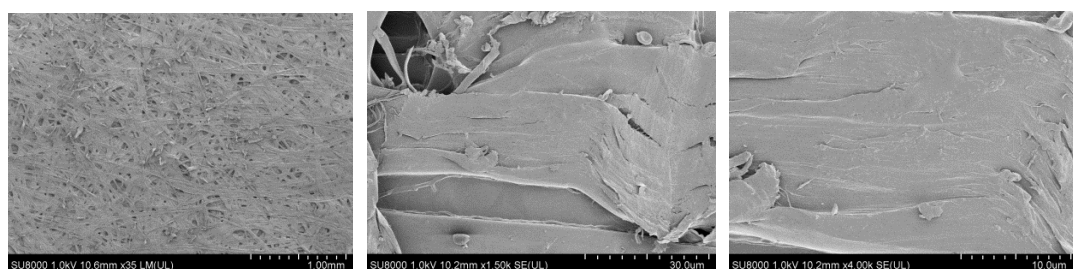


图 3.3 蓖麻蚕茧丝的内面形态

结果分析: 茧丝由外到内结构逐渐紧密, 蚕丝之间的纠缠交织方式杂乱无规律且多样化。茧壳外表面的蚕丝无规律的互相纠缠在一起; 外表面还有大小不一的块状物体在蚕丝表面粘附密集重叠。研究显示这种块状物是草酸钙晶体, 分布不均匀且尺寸不稳定, 它的存在对于蚕茧具有重要的意义; 有利于蚕茧外侧硬度增加保护茧内。而且能够提高茧壳内的温度稳定性。

3.3 蓖麻蚕丝羽化孔内表面形态

蓖麻蚕丝羽化孔内表面形态分为外侧和内侧两部分, 外侧如图 3.4 所示: 蓖麻蚕茧的羽化孔处茧丝表面可以观察到茧丝杂乱, 纤维松散。茧丝粗细不一, 茧层较多而且薄厚不匀, 蚕茧茧层分层的现象不明显(层交点); 丝胶以无定型的颗粒状裹覆在丝素的上面, 这在茧层形成时起到了茧丝间的连接。

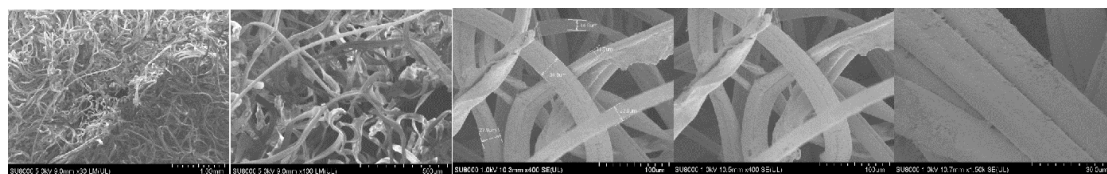


图 3.4 蓖麻蚕丝羽化孔外侧

内侧如图 3.5 所示：蓖麻蚕茧羽化孔处茧丝内层紧实且光滑，实验分析羽化孔处草酸钙相较其他部位含量较低。

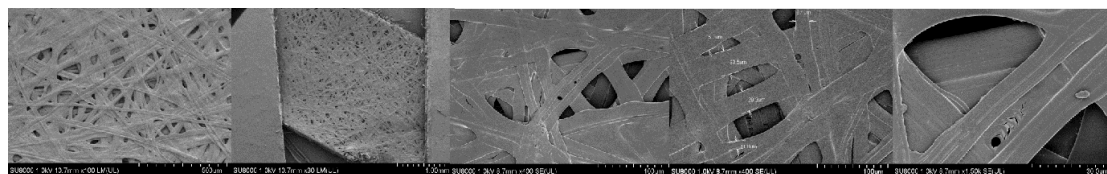


图 3.5 蓖麻蚕茧丝羽化孔内侧

结果分析：羽化孔处茧丝凌乱，纤度很细。羽化孔呈现不平滑的近似圆形，有星型辐射状态，内部看有明显的皱褶。在孔外有明显的蓬松的蚕丝遮盖，茧羽化孔口径为 0.2cm-0.3cm。

这表示蓖麻蚕茧在进行蚕茧缫丝时，蚕茧注满水时茧丝是无法承受其重力的，容易茧丝断裂，则蓖麻蚕茧无法完成整个缫丝过程。

3.4 蓖麻蚕茧丝截面形态结构

通过扫描电镜测试的纤维截面形态如图 3.6 所示蚕茧各层之间层次比较明显，层与层之间有蚕丝交联；不同茧层蚕丝纤维的形态结构和各种理化性能都有较明显的差异；蚕丝表面存在大量纵向条纹，截面形状为扁长方形平状，蚕丝中央有凸点，较为明显，使得纤维表面的反射光较弱，纤维光泽度较弱。

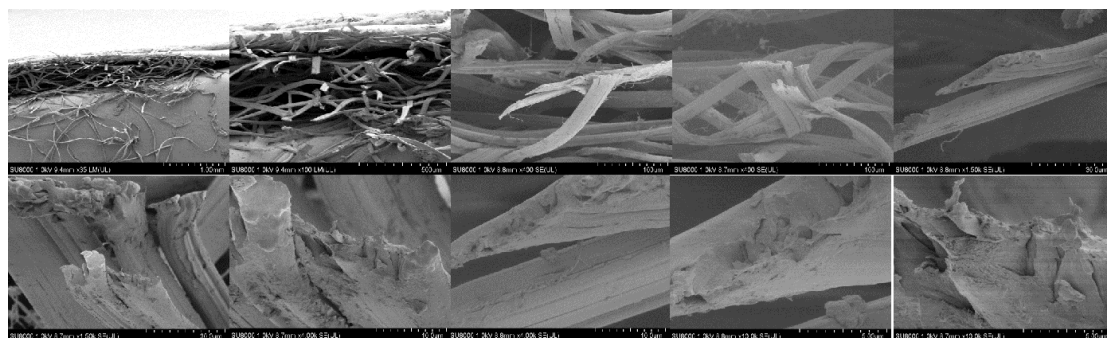


图 3.6 蓖麻蚕茧丝截面形态结构

第 4 章 蓖麻蚕丝的物质组成和性能研究

4.1 蓖麻蚕丝纤维的物质组成及化学组成的分析

4.1.1 蓖麻蚕丝纤维的物质组成

蓖麻蚕丝丝胶含量平均为 8%~10%左右,而家蚕茧中的丝胶含量为 25%~38%。蓖麻蚕茧中蜡质含量相较家蚕茧约低其 3 倍及以上。这些蜡质主要集中在丝胶中,是一种淡褐色不透明状结晶体。蓖麻蚕茧丝主要成分由丝素和丝胶组成,茧丝中丝素被半透明形状丝胶包覆,丝胶含量约为 8%~13%,丝素含量约为 83%~90%,其中丝素蛋白占蛋白的 80%左右。此外茧丝中还存在少量灰分、蜡质、无机物、色素等成分,这些次要成分主要分布在茧丝丝胶中。丝素蛋白主要由氨基酸组成,约含有人体必需的十几种氨基酸。外表面有很多不规则的块状物体。研究表明这种块状物是草酸钙晶体,分布不均匀且尺寸不稳定,边长在 0.5 μm 左右,它的存在对于蚕茧具有重要的意义。

表 4.1 蓖麻蚕茧茧丝蛋白的主要氨基酸组成

序号	氨基酸名称	质量分数比 (%)
1	丙氨酸 Ala	30%~35%
2	甘氨酸 Gly	25%~30%
3	酪氨酸 Tyr	5%~10%
4	组氨酸 His	2%~5%
6	谷氨酸 Glu	2%~5%
7	苏氨酸 Thr	2%~5%

结果分析:通过表 4.1 可以看出,蓖麻蚕茧丝中含有的甘氨酸、丙氨酸、丝氨酸、酪氨酸等 18 种主要氨基酸。蓖麻蚕茧丝较耐碱性,难以发生水解。研究报告显示纤维中肽链聚集态结构较为疏松,肽链链段间或链段内产生较多空隙,蓖麻蚕丝的结晶化相对较难。

4.1.2 蓖麻蚕丝纤维的化学组成

测试方法:利用 FTIR-850 傅里叶变换红外光谱仪(天津东科仪器厂)对蓖麻蚕丝进行测试;测试结果见图 4.1。

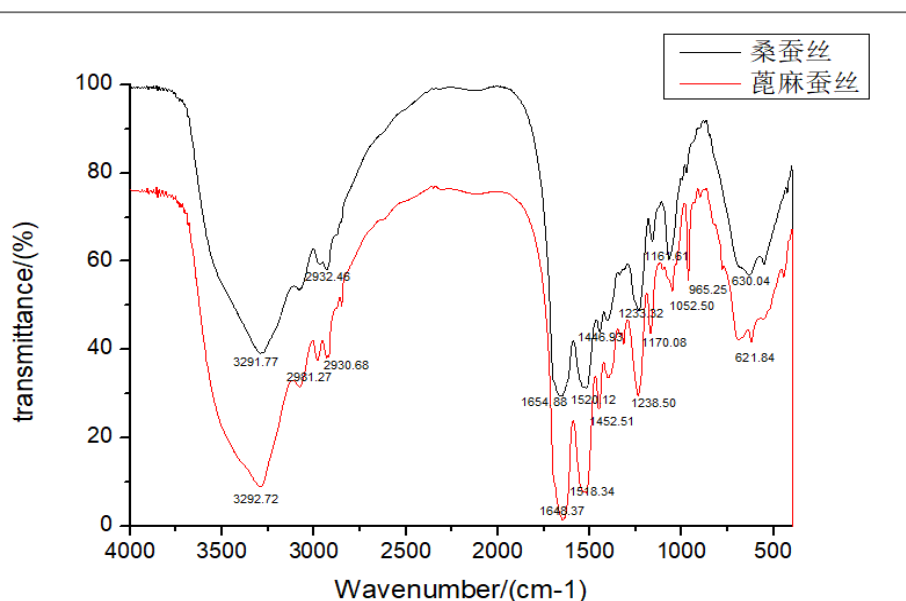


图 4.1 蓖麻蚕茧丝和桑蚕丝的红外光谱测试

从图 4-1 中可以看出 2 种蚕丝的红外光谱图相似；两种蚕丝在 3291.77 、 3292.72cm^{-1} 出现强的尖峰，为蛋白质分子中(N-H 的伸缩振动)，分别在 1520.12 、 1518.34cm^{-1} 的峰为酰胺II- α 螺旋结构，分别在 1446.93 、 1452.51cm^{-1} 的峰为 C-H 键的弯曲振动，且分别在 2932.46 、 2930.68cm^{-1} 出峰，为 C-H 键的伸缩振动，说明都含有亚甲基或甲基，分别在 1233.32 、 1238.50cm^{-1} 的峰为酰胺III- β 折叠结构，分别在 1161.61 、 1170.08cm^{-1} 的峰为酰胺III- β 折叠结构，且都在 1052cm^{-1} 处（酰胺V- β 折叠结构）附近都有特征吸收峰，不同的是蓖麻蚕丝 965.25cm^{-1} （酰胺II- β 折叠结构）处有一处吸收峰，为 Ala-Ala-Ala 的特征吸收峰，且蓖麻蚕丝在 621.84cm^{-1} （酰胺V- α 螺旋结构）处有吸收峰，而桑蚕丝在 630.04cm^{-1} （无规卷曲）处，有一稍弱吸收峰，可根据不同的蚕丝具有不同的特有的吸收峰作为区分它们的依据。

4.2 单纤维物理性能

在温度为 20°C ，湿度为为 65% 的恒温恒湿室中，利用单纤维强力仪对蓖麻蚕丝不同分层的蚕茧表面浮丝进行测试，设置预加张力。取 5 个试样分别进行测试。测试结果见表（4.2）

表 4.2 蓖麻蚕茧丝纤维强力测试结果

次数	断裂强力 /cN	断裂伸长 /mm	断裂强度/ cN/dtex	断裂伸长率 /%	断裂时间 /s	初始模 量
1	7.6	4.30	7.60	43.00	25.84	3.00
2	7.5	2.11	7.50	21.10	12.69	1.00
3	6.7	1.70	6.70	17.00	10.25	3.00
4	7.9	2.16	7.90	21.60	13.00	5.00
5	7.7	1.46	7.70	14.60	8.81	4.00

结果分析：通过表 4.2 实测数据可以分析出蓖麻蚕丝较粗，断裂强力稍高。测试结果标准偏差代表蓖麻蚕丝粗细不均匀，各项性能稳定性差。

蚕茧和蚕丝同样具有及其复杂交错的结构和较强的断裂强力，这使得蚕茧的茧层之间的胶着力大。

4.3 蓖麻蚕茧丝的吸湿放湿性

将放在烘箱中烘干的蚕丝试样取出，进行称重测量；然后将试样放在恒温 35℃，90%的相对湿度恒温环境中调湿，置放结束后立即称重；再取一组试样，将试样放在恒温 25℃，60%的相对湿度恒温环境中调湿，置放结束后同样立即称重。两组试样中间间隔相同时间同样称重；进行数据结果对比。

吸湿测试：将烘干后的纤维放置在 T: 25℃，RH:85%的空气环境中，定时测量其吸湿后的重量。

表 4.3 蓖麻蚕丝吸湿情况实测数据

时间 (min)	0	15	30	45	60
重量(g)	44.18	45.15	46.55	47.35	47.67

放湿：将蓖麻蚕丝试样放置在烘箱中干燥，烘箱温度设置为 105~110℃，每隔 15min 称取其重量，直到其重量差异小于 0.05%。

表 4.4 蓖麻蚕茧丝放湿情况实测数据

时间 (min)	0	15	30	45	60
重量(g)	50.07	44.09	43.53	43.42	43.34

结论：根据实测结果得出蚕茧吸湿放湿性能优秀是脱胶后表面具有许多凹凸细孔结构导致而成的，细孔使得纤维的比表面积增长，与热空气的接触面积大，所以放湿速度快；相同原理，湿空气中的蚕丝干纤维吸湿速度也快。

4.4 蚕丝的防紫外线性能测试

测试仪器：YG902C 防紫外线透过及防晒保护测试仪(宁波纺织仪器厂)；根据 GB18830—2009 《纺织品防紫外线性能的评定》。

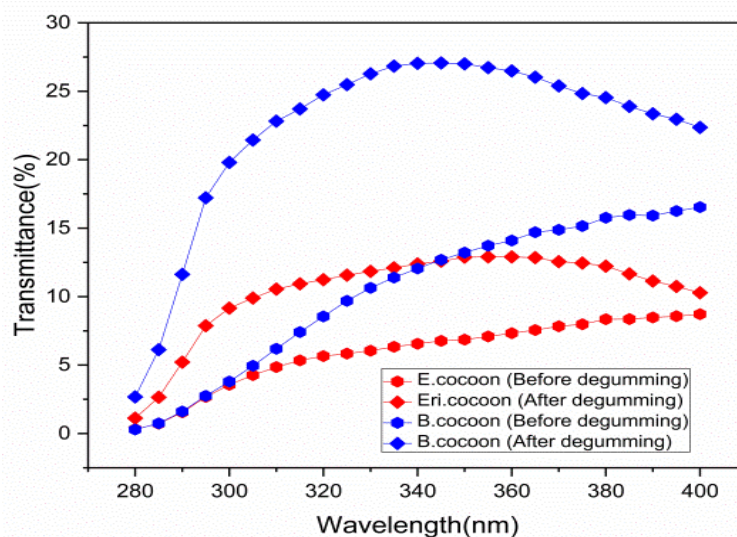


图 4.2 脱胶前后蓖麻蚕和桑蚕的抗紫外线性能

结果分析：通过图 4.2 分析可以知，未脱胶的蓖麻蚕茧的紫外线防护系数（UPF）为 17.8（%），UVA 和 UVB 透射率 $T(UVA)$ 和 $T(UVB)$ 分别为 7.4% 和 3.58%，未脱胶的桑蚕茧紫外线防护系数（UPF）为 15.3（%），UVA 和 UVB 透射率 $T(UVA)$ 和 $T(UVB)$ 分别为 13.33% 和 3.42%，蓖麻蚕茧表现出了优于家蚕的良好的防紫外线性能，也是其作为野蚕所必须的防护要求，脱胶后的蓖麻蚕茧的紫外线防护系数（UPF）降为 4.4（%），UVA 和 UVB 透射率 $T(UVA)$ 和 $T(UVB)$ 分别为 25.37% 和 15.97%，说明蓖麻蚕茧脱胶前后，蚕茧的附属物对蚕茧的防护性能影响较大，指出丝胶具有较好的紫外线防护性能，蚕茧的外层的含胶率高于内层接近 50%，这也是一种合理的蚕茧结构设计，桑蚕茧外层含胶率 (37.42 ± 2.78) 高于蓖麻蚕茧，但紫外线防护系数却低于蓖麻蚕茧，究其原因是因为紫外线透射与材料的厚度、结构、颜色深度有关，蓖麻蚕茧的厚度大于桑蚕丝，结构具有明显的多层且层与层具有明显的中空现象，同时，蓖麻蚕茧的颜色偏黄，因此其防护效果优于桑蚕茧。

4.5 蓖麻蚕丝的抗菌性能测试

试验方法：采用对比方法如图 4.3 所示，分别于 LB 培养基中 220 rpm，37°C 条件下培养大肠杆菌 DH5 α 和金黄色葡萄球菌至 OD600 为 0.6 左右，108 个

CFU/mL 的浓度，以 1:1000 的体积比将菌液和融化的固体培养基混合，每个培养皿（直径为 90 mm）中倒入 10 mL 混合培养基，凝固后备用。将测试样品放在温度为 37°C 的容器中培养 24 小时后记录。

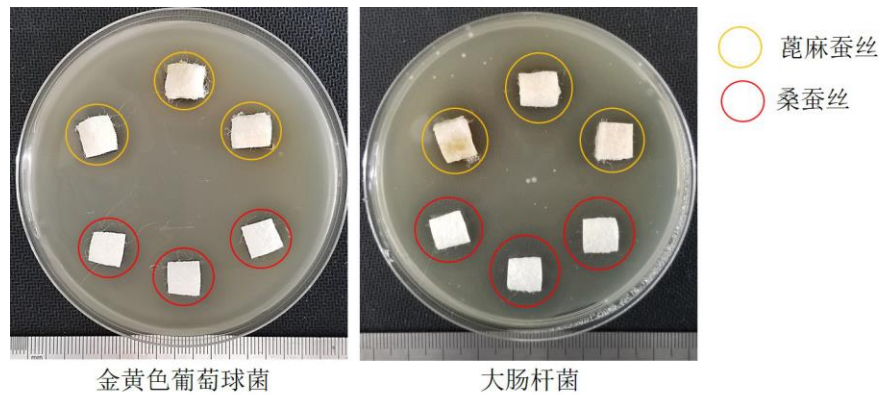


图 4.3 蓖麻蚕茧丝的抗菌性能测试

实验结果表明，蓖麻蚕丝和桑蚕丝对金黄色葡萄糖球菌的抑菌圈直径分别为 16.3mm 和 16.5mm，蓖麻蚕丝和桑蚕丝对大肠杆菌的抑菌圈直径分别为 18.6mm 和 19.6mm，两种蚕丝对金黄色葡萄球菌的抑菌率相当。实验结果表明蓖麻蚕丝和桑蚕丝均有一定的抑菌作用，蓖麻蚕丝对大肠杆菌的抑菌作用稍低于桑蚕丝。

第5章 蓖麻蚕不同分层脱胶对比

蚕丝被丝胶包裹,它不仅影响影响蚕丝的着色能力,同时还影响织物的手感。所以,所以蚕丝在进行纺制之前都需要对其脱胶处理,溶解蚕丝上的丝胶。

丝胶一般是在热、酸、碱、化学助剂等作用下会发生性状的变化(称之为蛋白质变性)。用热水或者是含碱剂的热热水也可以对其溶解,但不能保证全部溶解,丝素同样难以溶解。本实验运用传统碳酸钠脱胶实验和“虹吸法”[2]两种实验方法对蓖麻蚕丝不同分层脱胶,进行数据对比。

5.1 传统蓖麻蚕丝的脱胶工艺流程

浸泡—初练—水洗—复练—水洗—烘干。

浸泡:用蒸馏水浸泡 30 分钟。

初练:用碳酸钠溶液煮 30 分钟,温度 80℃。

水洗:用 30~40℃的蒸馏水清洗。

复练:用 0.5%碳酸钠溶液煮 30 分钟,温度 80℃。

水洗:用 30~40℃的蒸馏水清洗。

烘干:放入烘箱烘干。

5.1.1 实验材料与仪器

材料:天然蓖麻蚕茧;无水碳酸钠(开源化学试剂厂)。

仪器:202-1 型电热恒温水浴锅(上海博讯实业有限公司);YG(B)003A 型电子单纤维强力机(大荣纺织标准仪器厂);FA2004 电子天平(上海舜宇恒平科学仪器有限公司);刻度吸量管,烧杯,吸耳球(上海博讯实业有限公司医疗设备厂)。

5.1.2 实验方案

准备:先用剪刀对半剪开蓖麻蚕茧,处理好蚕蛹内部的死去的蓖麻蚕尸体和粪便等,将蓖麻蚕茧上明显分为表层、中层及里层三组,每组准备三个试样将试样分成棉絮状;为接下来实验做对比。用电子天平称量适量的碳酸钠粉末配比,按照浴比 1:100 配置。用 1L 的容量瓶配比成碳酸钠溶液质量分数为 0.2%。后将

蚕丝用 30~40℃蒸馏水清洗，洗涤后放入烘箱烘干放入电子天平称重，最后检验其脱胶程度，直至其完全脱胶。蚕茧的不同分成都要进行脱胶处理，这样才能研究在蓖麻蚕茧不同部位不同分层中蚕茧的含胶率。

5.1.3 脱胶率测定

将实验前和实验后的试样分别称克重记录，可以采用烘干称质量法[4]进行，茧丝试样脱胶前后放入烘箱中，在 80℃温度下进行烘干，然后放入恒温室中平衡 12h，之后用电子天平称其茧丝克重，称得的质量分别为脱胶前后的干质量（重复烘干称量，质量差小于 0.05% 视为恒质量）。

脱胶率按照公式（5.1）进行计算：

$$\text{脱胶率} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\% \quad (5.1)$$

式中：W1 为脱胶前蚕丝的干质量；

W2 为脱胶后的蚕丝干质量。

5.1.4 实验结果

传统的脱胶方法测试结果见表（5.1-5.3）。

表 5.1 蓖麻蚕丝表层脱胶率

脱胶温度/℃	碳酸钠浓度 g/L	浴比 (D)	脱胶时间/min	脱胶率 (%)
80	0.05	1: 100	30	18.09%
80	0.05	1: 100	30	17.70%
80	0.05	1: 100	30	18.25%
平均值				18.01%

表 5.2 蓖麻蚕丝中层脱胶率

脱胶温度/℃	碳酸钠浓度 g/L	浴比 (D)	脱胶时间/min	脱胶率 (%)
80	0.05	1: 100	30	13.14%
80	0.05	1: 100	30	14.46%
80	0.05	1: 100	30	13.33%
平均值				13.64%

表 5.3 蓖麻蚕丝里层脱胶率

脱胶温度/℃	碳酸钠浓度 g/L	浴比 (D)	脱胶时间/min	脱胶率 (%)
80	0.05	1: 100	30	11.33%
80	0.05	1: 100	30	10.83%
80	0.05	1: 100	30	10.60%
平均值				10.92%

5.2 “虹吸”原理测试方法

“虹吸法”是基于“虹吸”原理和超声脱胶的蚕丝含胶率快速测试仪器方法；是王慧玲等人研究的利用超声波空化作用对蚕丝进行脱胶，利用虹吸装置的虹吸作用循环反复回收脱胶液，使丝胶丝素彻底分离，测试出蚕丝含胶率的实验方法。

5.2.1 实验仪器

蚕丝含胶率快速测试仪器^[3]。

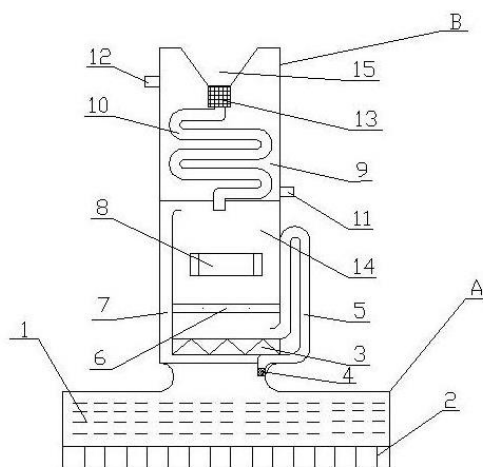


图 5.1 蚕丝含胶率快速测试仪器原理图

A 为回收单元，B 为脱胶单元，1 为储水器，2 为电加热器，3 为超声波振荡器，4 为滤胶器，5 为虹吸装置，6 为样品孔板，7 为管道，8 为样品放置口，9 为液化室，10 为多级弯管，11 为液化水入口，12 为液化水出口，13 为通气孔，14 为脱胶室，15 为注水室

5.2.2 测试方法

实验测试方法为：采用烘干称重法测量试样脱胶前的质量 W_1 ，然后将脱胶试样放置到脱胶室内的样品孔板上，均匀铺平。注入去离子水，设置温度，打开加热器。打开超声波振荡器，超声波的“空化”作用，使丝胶与丝素不断地分离。仪器反复数次（控制超声波的振荡频率，循环脱胶次数在 5-8 次），丝胶便会被脱尽，丝胶随着脱胶液全部被收集到回收单元中。

仪器脱胶结束后，关闭电加热器和超声波振荡器及冷却水，将回收单元与脱胶单元分离，从样品孔板和滤胶器处取出蚕丝样品，进行烘干称重记为 W_2 ，则蚕丝脱胶率用公式（5.1）进行计算。

5.2.3 实验结果

“虹吸法”测试的数据见表 5.4。

表 5.4 “虹吸”蓖麻蚕茧丝脱胶率

实验方法	蓖麻蚕茧丝脱胶率 (%)		
	表层 (%)	中层 (%)	里层 (%)
虹吸法	16.89~17.10	13.18~14.75	10.11~10.83

5.3 结果与分析

通过表(5.1)和表(5.2)的测试结果发现,蓖麻蚕茧丝中丝胶含量只有 10%~20%左右,相比其他蚕丝含胶率偏差在 10%左右,茧层不同层次按茧衣表层、中层及内层的茧丝含胶率逐渐减少;尤其茧层内层丝胶含量更少。

蓖麻蚕丝胶在水中难溶性的主要原因是茧丝的次要成分含量较多与茧层本身结构所引起的。蓖麻蚕茧中含有一定数量的单宁,单宁被丝胶蛋白吸附后成为不溶解物质,因此茧层中不含单宁的家蚕的溶解度要大大优于蓖麻蚕丝丝胶含有单宁和蜡质物使其丝胶膨润溶解困难,由于其茧层难以膨化,中内层紧外层松。蓖麻蚕茧丝的形状较为扁平,茧丝间相互接触面较大,这更使茧层网状结构致密。蓖麻蚕茧的结构形成了其丝胶的物理性质上难溶的特点。蓖麻茧丝丝胶的结晶度较低,一般认为,结晶度低,其聚集态结构较为疏松,分子排列不整齐,水溶性好,但事实上蓖麻蚕茧丝中丝胶的水溶性远远小于家蚕丝胶,因此,可以认为蓖麻蚕丝胶的聚集态结构对其溶解性影响不大。

第 6 章 21tex 60/40 棉蓖麻茧丝混纺纱设计

6.1 蓖麻蚕丝的可纺性

纺织纤维有一些与纱线品质、纺纱难易有关的综合物理性能，称之为可纺性能。在正常生产条件下，纤维的可纺性能越好，成纱质量就越好。纤维的各种单项物理性能对其可纺性能都有影响，现代纺纱对纤维可纺性能是根据产品质量和技术经济指标两方面情况来评定的。混纺比的确定直接影响其织物的弹性手感，透气等性能，而且关系纺纱各工序生产加工的难易，对此我们进行配比试验，按原料实际毛重计算混合比例，观看单纱强力。

由于蓖麻蚕丝的转曲很少，抱合力较差，单纤维较长，因此蓖麻蚕丝的含量越高，纺纱难度越大，生产效率较低，纱线效果达不到预期，为保证纺纱工序的稳定进行，蓖麻蚕丝与棉采用的实际混纺比为 40:60。

6.2 蓖麻蚕丝与棉混纺纺纱工艺流程与设备选择

(1) 蓖麻蚕丝:FA002 自动抓棉机→A035 型开棉机→FA106 型豪猪式开棉机→A092A 型双棉箱给棉机→FA141 单打手成卷机→FA201B 型梳棉机；

(2) 棉: FA002 自动抓棉机→A006B 型自动混棉机→FA106A 梳针型开棉机→A092A 型双棉箱给棉机→A076 型成卷机→FA201B 型梳棉机；

(3) →FA311 并条机（头并）→FA311 并条机（二并）→FA311 并条机（三并）→FA458A 型粗纱机→FA506 型细纱机。

6.3 纱线的工艺设计与参数选择

工艺参数的选择应与纺纱工艺流程和设备的性能特点结合起来考虑。如果工艺参数选择不当，不仅会影响产品的生产质量，还会造成生产脱节，供应不平衡。生产一定数量的细纱，如果粗纱的线密度大，就会影响细纱机的正常牵伸和产品质量；相反，如果粗纱的线密度偏小，生产相同数量的细纱，所需要的粗纱机台数将会相应增多。开清棉是纺纱过程中的第一道工序。因原棉中含有各种杂质和疵点，并以压紧的棉包送进本工序，所以为了保证棉纱质量和满足后道工序的加工要求，开清棉工序应该完成以下任务：

(1) 开松：把棉包中压紧的棉块松解成较小的棉块或棉束。

- (2) 混合：按混纺的要求，将各种不同形状的原棉和蓖麻蚕丝得到充分混合。
- (3) 清花：清除蓖麻蚕丝和原棉中的大部分的杂质、疵点和部分的短绒。
- (4) 成卷：制成一定规格的均匀棉卷，以满足下一道工序的加工需要。

表 6.1 开清棉工艺参数

开 清 棉 工 艺						
棉卷干定量 g/m	棉卷长度 m		棉卷伸长率%	转速 r/min		
	计算	实际		豪猪打手	综合打手	棉卷罗拉
棉 392.5	35.65	36.9	3.5	480	1001.74	12.31
蓖麻蚕丝 399.45	44.71	45.25	1.2	510	921.6	13.34
给棉罗拉与打手隔距 mm		打手与尘棒隔距 mm (进口×出口)		尘棒与尘棒隔距/mm		
豪猪	综合	豪猪	综合	豪猪/梳针	综合	
11	6	10×16	10×18	8	7	
8	6	12×18	8×16	8	6	
打手皮带轮 D ₁	风 扇 皮 带轮 D ₂	电机皮 带轮 D ₃	铁炮牙 Z ₁ /Z ₂	牵 伸 对 牙 Z ₃ /Z ₄	棉 卷 罗 拉 齿 轮 Z ₅	压 卷 罗 拉 齿 轮 Z ₆
230	160	120	25/17	25/36	24	24
250	210	130	24/18	21/30	24	24

6.3.1 梳棉工艺

原棉经开清棉工序加工后，棉卷或棉层中的纤维多数呈松散状棉块、棉束，并含有很多较小的带纤维、粘附性较强的杂质、棉结，梳棉工序的任务就是对棉卷或棉层进行个梳理、除杂、均匀混合并制成棉条，又称生条。以便下到工序的加工。

- (1) 梳理：将棉块或棉束进行梳理，使其大部分分离成单根纤维状态。
- (2) 除杂：继续清除残留在棉卷或棉层中的杂质。
- (3) 均匀混合：利用梳棉机的“吸”和“放”功能，是纤维与纤维间进行充分的混合，并使制品保持较均匀的线密度。
- (4) 成条：制成符合一定规格和重量要求的棉条，并有规则的圈放在棉条桶内。

表 6.2 梳棉工艺参数

机型		生条干定量 g/5m		总牵伸倍数		转速 r/min			转速 mm/min	
				机械	实际	刺辊	锡林	道夫	盖板	
FA201B		15.3		99.18	104.4	972.9	360	29.3	184.11	
刺辊与周围机件隔距 mm										
给棉板		小漏底入口		小漏底出口		除尘刀		锡林		
0.21		0.5		1.3		0.3		0.15		
锡林与周围机件隔距 mm										
活动盖板					后罩板	道夫	前上罩板		前下罩板	
进口	第 2 点	第 3 点	第 4 点	出口	进口	出口	上口	下口	上口	下口
0.25	0.15	0.2	0.2	0.21	0.5	0.12	0.5	0.8	0.8	0.5
马达盘 mm		刺辊盘 mm	轻重牙 Z_1		棉网张力齿轮 Z_2		道夫速度 变换齿轮 Z_3		盖板速度变换齿 轮 $Z_4 Z_5$	
136		200	15		20		28		30、30	

表 6-3 梳棉 (蓖麻蚕丝) 工艺参数

机型		生条干定 量 g/5m		总牵伸倍数		转速 r/min			转速 mm/min	
				机械	实际	刺辊	锡林	道夫	盖板	
FA201B		16.44		115.57	121.65	950	360	33.5	183.61	
刺辊与周围机件隔距 mm										
给棉板		小漏底入口		小漏底出口		除尘刀		锡林		
0.21		7		2		0.3		0.15		
锡林与周围机件隔距 mm										
活动盖板					后罩板	道夫	前上罩板		前下罩板	
进口	第 2 点	第 3 点	第 4 点	出口	进口	出口	上口	下口	上口	下口
0.2	0.15	0.17	0.2	0.21	0.5	0.12	0.5	0.9	0.8	0.5
马达盘 mm		刺辊盘 mm	轻重牙 Z_1		棉网张力齿轮 Z_2		道夫速度 变换齿轮 Z_3		盖板速度变换齿 轮 $Z_4 Z_5$	
136		224	18		21		32		30、30	

6.3.2 并条工艺

并条是生条形成熟条的必经工序，其工序内容有：

(1) 利用并和的方法使条子的粗细相遇，一方面改善产品均匀度，另一方面充分的混合了纤维。

(2) 采用牵伸的方法使条子抽长拉细，以改善内部结构。

(3) 卷装成形，便于后道工序的加工。

表 6.4 并条工艺参数

道别	机型	条子干定量 g/5m	并合 数	总牵伸倍数		牵伸倍数分配			前罗拉速 度 m/min
				机械	实际	1-2	2-3	3-4	
头并	FA311	15. 11	8	10. 46	10. 16	6.97	1.018	1.22	376.4
二并	FA311	14. 21	8	7.76	7.43	6.97	1.018	1.22	259.32
三并	FA311	13. 12	8	8. 92	8. 64	6.43	1.018	1.35	270.13
罗拉握持距 mm		罗拉加压 N			罗拉直径 mm			喇叭口直径 mm	
1-2	3-4	1×2×3×4			1×2×3×4				
46	50	294×294×392×392			35×35×35×35			2.4	
46	50	294×294×392×392			35×35×35×35			4.0	
47	51	294×294×392×392			35×35×35×35			3.8	
48	52	294×294×392×392			35×35×35×35			3.6	
总牵伸齿轮 B/A		轻重牙 TDC		冠牙 FC	主牵伸变换齿轮 E、F、G、H		马达盘 D ₀	车头盘 d ₀	
67/44		38		98	23、77、52、81		145	113	
67/44		37		100	23、77、43、58		130	113	
67/44		38		100	29、71、40、75		145	121	

6.3.3 粗纱工艺

粗纱采用“后区小牵伸，紧隔距”的工艺原则，采用小的后区牵伸，充分发挥主牵伸区的作用，有利于对浮游纤维的控制，在保证细纱正常牵伸的情况下，粗纱捻系数应偏大掌握，减少细纱退绕时产生的意外牵伸，罗拉隔距应以 51*60mm 为宜。粗纱的任务：

(1) 牵伸：将棉条抽长拉细到 5-12 倍，并使纤维进一步伸直平行。

(2) 加捻：由于粗纱机牵伸后的须条截面纤维根数少，伸直平行度好，故强力较低，所以需加上一定捻度来提高粗纱强力，以避免卷绕和退绕时意外伸长，并为细纱牵伸做准备。

(3) 卷绕成形：将加捻后的粗纱卷绕在筒管上，制成一定形状和大小的卷装，以便储存、搬运和适应细纱机上的喂入。

表 6.5 粗纱工艺参数

机型	粗纱干定量 g/10m	牵伸倍数		后区牵伸倍数	计算捻度 捻/10cm	捻系数	罗拉中心距 mm		罗拉加压 N
		机械	实际				1—2	2—3	
FA458A	4.11	7.45	7.23	1.21	2.29	48.75	60	55	300×200×250
罗拉直径 mm	轴向卷绕密度圈 /10cm		径向卷绕密度 层/cm		锭子转速 r/min		主轴转速 r/min		钳口隔距 (mm)
28×25×28	4.14		21.43		625.67		500.86		5.5mm
捻度牙 Z ₁ 、Z ₂	捻度牙 Z ₃	轻重牙 Z ₇	后区牵伸牙 Z ₈	张力牙 Z ₄ 、Z ₅	升降牙 Z ₉ 、Z ₁₀		升降齿轮 Z ₁₁		卷绕牙 Z ₁₃
103、70	33	36	39	35、30	28、39		21		37

6.3.4 细纱工艺

细纱是后区大隔距，小后区牵伸，重加压的工艺原则，合理控制原始钳口的隔距，选用低硬度皮辊，做好自由去的控制，提高纱线条干水平。

细纱是将粗纱条纺成一定特数、符合国家质量标准的细纱，供织机或针织机使用，其主要任务有：

- (1) 牵伸：将喂入的粗纱均匀的抽长拉细到成纱所需要的特数。
- (2) 加捻：将牵伸后的须条加上适当的捻度，使细纱具有一定的强力、弹性、光泽、手感等物理机械性能。
- (3) 卷绕成形：将纺成的细纱，按一定的成形卷绕在筒子上，便于运输、贮藏和后续加工。

表 6.6 细纱工艺参数

机型	细纱干定量 (g/100m)	公定回潮率 (%)	总牵伸倍数		后区牵伸倍数	捻向		
			机械	实际				
FA507B	2.39	9.5	22.70	22.05	1.3	Z		
罗拉直径 (mm)	转速 (r/min)		钢领		钢丝圈		马达盘 D ₁	车头盘 D ₂
1×2×3	前罗拉	锭速	型号	直径	型号	号数		
25×25×27	245.86	15077	PG1/2	42	CO 型	10/0	200	200
牵伸对牙 Z ₂₅ /Z ₂₆	撑头牙	后区牵伸齿轮 Z ₂₉		卷绕齿轮 Z ₁₂ 和 Z ₁₃	计算捻度(捻 /10cm)		捻系数	捻度对牙 Z ₃ /Z ₄
48/73	5	29		49/45	63.8		299.24	68/42

6.4 成纱质量检测

6.4.1 成纱样品



图 6-1 成品纱线

6.4.2 纱线线密度的检测

实验仪器：YGB025T 缕纱测长仪，FA2004 电子天平

纱线线密度检测采用绞纱称重法来测定，绞纱周长为 1 米，绕 100 圈，每批纱线取样后绕 30 绞，分别称重。

线密度的法定计量单位是特克斯 (tex)，即在公定回潮率下 1000 米长度纱线的质量克数[13]，测试结果见表 (6.7)。

表 6.7 60/40 棉蓖麻蚕丝混纺线密度

	1	2	3	4	5	平均值
重量(g)	2. 21	1. 98	2. 16	2. 23	2. 22	2.16
长度(m)	100	100	100	100	100	100
线密度(tex)	22.1	19.8	21.6	22.3	22.2	21.6

6.4.3 单纱断裂强力检测

实验仪器：YG (B) 0210D 电子单纱强力机。

实验环境：室内温度 10°C，室内湿度 50%。

强力是纱线主要的内在质量，纱线一次拉伸断裂的指标是单纱断裂强力、单纱断裂伸长率。表 6.8 测试结果可以看出棉蓖麻蚕丝混纺纱单纱强力较低。

表 6.8 60/40 棉苧麻蚕丝混纺纱强力

	1	2	3	4	5	平均值
长度 (mm)	500	500	500	500	500	500
断裂强力 (CN)	220	233	200	214	226	218.6
伸长率 (%)	10.8	7.8	14.1	11.7	9.6	10.8

6.4.4 细纱捻度检测,

纱线捻度是纱线质量的重量参数之一, 纱线捻度能够直接影响到纱线的各项性能。捻度变异的大小反映了生产设备的状态, 并对织物的平整、均匀、横档有很大影响。

棉苧麻蚕丝混纺纱的捻度的测试采用一次退捻加捻法。

实验仪器: YG155A 纱线捻度仪。

表 6.9 60/40 棉苧麻蚕丝混纺纱的捻度值

	1	2	3	4	5	平均
试样长度(mm)	250	250	250	250	250	250
预加张力(cN/tex)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
捻回数	303.3	319.4	314.7	308.5	316.4	312.46
捻度值(捻/10cm)	60.66	63.88	62.94	61.7	63.28	62.49

6.4.5 纱线毛羽检测

纱线毛羽是指伸出纱线主体的纤维断或圈。毛羽多少对纱线外观、织物质量有重量影响。毛羽不仅对织物表面的手感、平整光滑度等方面均有很大的影响。

采用光电原理的检测苧麻蚕丝/棉混纺纱毛羽多少。

实验仪器: YG171L 纱线毛羽测试仪

表 6.10 60/40 棉苧麻蚕丝混纺纱纱线毛羽测试表

管数	次数	1mm	2mm	3mm	4mm	5mm	6mm	7mm	8mm
1	1	595	102	17	6	3	1	0	0
1	2	528	78	12	3	0	0	0	0
1	3	512	74	13	6	3	0	0	0
2	4	492	86	8	2	1	1	1	0
2	5	465	59	10	1	2	2	1	0
2	6	538	76	12	2	0	0	0	0

表 6.11 各管平均数据

管数	1mm	2mm	3mm	4mm	5mm	6mm	7mm	8mm
1	545.00	84.67	14.00	5.00	2.00	0.33	0.00	0.00
2	498.33	73.63	10.00	1.67	1.00	0.67	0.00	0.00

表 6.12 毛羽指数统计

统计	1mm	2mm	3mm	4mm	5mm	6mm	7mm	8mm
平均值	521.67	79.17	12.00	3.33	1.50	0.50	0.00	0.00
毛羽指数	173.89	26.39	4.00	1.11	0.50	0.17	0.00	0.00
极差	46.67	11.00	4.00	3.33	1.00	0.33	0.00	0.00
不匀率	6.33	9.83	23.57	70.64	47.14	48.08	0.00	0.00

结论：由上表可知蓖麻蚕丝/棉混纺纱毛羽较多，纱线质量较差。

第7章 总结

（1）本文主要对蓖麻蚕茧进行基本规格检验，利用电子显微镜、纤维强力仪、YG065H 顶破强力仪等一系列仪器对蓖麻蚕茧丝进行基本结构和机械性能研究；通过含胶率对比以及透气透湿性测试、保暖性测试、抗菌性测试等一系列实验对蓖麻蚕茧进行性能研究。结果分析为蓖麻蚕茧丝具有较强的吸湿透气性、抗菌性、抗紫外线等功能，但纤维的机械性能一般，纤维强度是决定纱线强度的最本质的因素，在其他条件不变时，纤维强度越高成纱强度也越高。蓖麻蚕丝的各项物理指标表明蓖麻蚕丝具有一定的可纺性，虽然纺纱难度较大，但是选择在纺纱工艺中合理配置来提高蓖麻蚕丝混纺纱的纱线质量依然可以达成。

（2）对蓖麻蚕丝纤维进行了研究与实验，从蚕丝的脱胶，到蚕丝可纺性能的分析及与棉的混纺纱工艺设计。在其过程中了解了蚕丝的特性，进一步熟悉了纺纱的工艺流程。

蚕丝纤维一直是一种娇贵纤维，是开发保健生态纺织品的重要天然纤维，随着人们生活质量的提高，健康舒适的纺织品的市场容量越来越大。但是脱胶制蚕丝纤维的质量好坏对后道的制成率及成纱质量有很大的影响，如何提高蓖麻蚕丝纤维的质量是进一步开发蓖麻蚕丝产品的关键之处。

总之，随着人们生活水平的提高，对高档、舒适纤维制品的要求越来越高，需求量越来越大，蓖麻蚕丝纤维的进一步开发和研究显得更为重要。

参考文献

- [1] 肖信香.天然柞蚕茧基本性能研究[D]. 武汉纺织大学学报, 2015
- [2] 王慧玲等.基于“虹吸”原理和超声脱胶的蚕丝含胶率测试仪[R].上海纺织科技
- [3] 周彬等.发明专利一种蚕丝含胶率测试仪器 201611098466.5[P].国家知识产权局, 2017-03-01
- [4] 周小进等.不同脱胶方法对蚕丝性能的影响分析[M].2013.
- [5] 王慧玲等.实用新型一种蚕丝含胶率测试仪器 201621317673.0[P].国家知识产权局,2017-05-11。
- [6] 瞿才新. 纺织材料基础[M]. 北京: 中国纺织出版社, 2004.
- [7] 郭大东等.棉纺手册.第二版,北京:中国纺织出版社,2001.
- [8] 任家智. 纺织工艺与设备[M]. 上册, 北京: 中国纺织出版社, 2004.
- [9] 郁崇文. 纺纱工艺设计与质量控制[M]. 中国纺织出版社, 2005.
- [10] 史志陶. 棉纺工程[M]. 第三版, 北京: 中国纺织出版社, 2004.
- [11] 高卫东.现代织造工艺与设备[M],中国纺织出版社,1998.
- [12] 陆再生. 棉纺设备[M]. 北京: 中国纺织出版社, 1994.
- [13] 棉织手册编委会.棉织手册(上册)[M].中国纺织出版社, 2001.
- [14] 徐少范.棉纺质量控制[M].北京: 中国纺织出版社, 2002.
- [15] Zhang, J.; Kaur, J.; Rajkhowa, R.; Li, J.L.; Liu, X.Y.; Wang, X.G. Mechanical properties and structure of silkworm cocoons: A comparative study of *Bombyx mori*, *Antheraea assamensis*, *Antheraea pernyi* and *Antheraea mylitta* silkworm cocoons. *Materials Science & Engineering C-Materials for Biological Applications* 2013, 33, 3206-3213, doi:10.1016/j.msec.2013.03.051.
- [16] Chen, F.; Porter, D.; Vollrath, F. Structure and physical properties of silkworm cocoons. *Journal of the Royal Society Interface* 2012, 9, 2299-2308, doi:10.1098/rsif.2011.0887.
- [17] Reddy, N.; Zhao, Y.; Yang, Y. Structure and Properties of Cocoons and Silk Fibers Produced by *Attacus atlas*. *Journal of Polymers and the Environment* 2013, 21, 16-23, doi:10.1007/s10924-012-0549-8.
- [18] Pakdel, E.; Daoud, W.A.; Afrin, T.; Sun, L.; Wang, X. Self-cleaning wool: effect of noble metals and silica on visible-light-induced functionalities of nano TiO₂ colloid. *Journal of the Textile Institute* 2015, 106, 1348-1361, doi:10.1080/00405000.2014.995461.
- [19] Zhang, X.; Yin, J.; Peng, C.; Hu, W.; Zhu, Z.; Li, W.; Fan, C.; Huang, Q. Distribution and biocompatibility studies of graphene oxide in mice after intravenous administration. *Carbon* 2011, 49, 986-995, doi:10.1016/j.carbon.2010.11.005.
- [20] Peng, F.; Zhang, D.; Wang, D.; Liu, L.; Zhang, Y.; Liu, X. Enhanced corrosion resistance and biocompatibility of magnesium alloy by hydroxyapatite/graphene oxide bilayer coating. *Materials Letters* 2020, 264, doi:10.1016/j.matlet.2020.127322.
- [21] Yan, D.; Gu, M.; Lin, Y.; Chen, P.; He, X. Evolution of surface functional groups of coal char during coal combustion under O₂/CO₂ atmospheres. *Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering* 2018, 13, doi:10.1002/apj.2170.
- [22] Goncalves, G.; Marques, P.A.A.P.; Barros-Timmons, A.; Bdkin, I.; Singh, M.K.; Emami, N.;

- Gracio, J. Graphene oxide modified with PMMA via ATRP as a reinforcement filler. *Journal of Materials Chemistry* 2010, 20, 9927-9934, doi:10.1039/c0jm01674h.
- [23] 吴志平,姜乃珍.1955 至 1956 年江苏省蓖麻蚕试验繁育情况辑录[J].江苏丝绸,2018(04):28-33.
- [24] 姜为青,樊理山,张月华,周彬,赵磊.蓖麻蚕丝的结构及其残胶超声成膜的应用研究[J].丝绸,2015,52(09):6-10.
- [25] 徐梅,左保齐.再生蓖麻蚕丝素蛋白静电纺丝的结构研究[J].丝绸,2008(03):16-18+39.

致谢

转眼间三年紧张而又充实的大学生生活即将结束。在校三年的时间，盐城工业职业技术学院以其优良的学习风气和氛围教我求学，以其博大宽怀的胸襟，欢声笑语，浪漫充实的校园生活育我成人，在这三年的学习期间里，我得到了很多老师、同学和朋友的关怀和帮忙。在论文即将完成之际，我要向在所有期间给予我支持、帮忙和鼓励的人表示我最诚挚的谢意。

首先这次的毕业设计是在大学生涯中的最后一次作业，我要感谢我的指导老师黄素平和周彬老师。从论文的选题、构思、撰写到最终的定稿，老师们都给了我指导和帮忙，在我做毕业论文过程中对我悉心的指导，遇到不懂的地方老师会帮助我解决问题，这才能使我的毕业论文能够顺利的完成。黄老师对工作的认真负责，兢兢业业和一丝不苟的治学态度，使我受益匪浅。对学术的钻研精神和严谨的学风，这些都是值得我去终生学习的。

其次，感谢纺织服装学院的全体领导和老师，是因为他们的悉心教导，我学到了专业的纺织知识，掌握了扎实的专业技能。

最后，感谢我的家人在此期间给予我的包容、关爱和鼓励，是你们的支持才让我有学习的动力。以及所有陪我一路走来的同学和朋友，因为有你们的陪伴，我三年的大学生活才会充满欢声笑语，我遇到困难的时候你们会陪我一起解决，支招。大学三年有你们不孤单。

盐城工业职业技术学院这所大学记载了我大学三年的青春时光，见证了我的成长，在这期间我学习到了很多的知识，交到了志同道合的朋友，让我们在这所学校里有了属于我们的美好回忆！

最后再次感谢在此次毕业设计中提供帮助和宝贵意见的老师和同学们。



盐城工业职业技术学院
Yancheng Polytechnic College

学生毕业设计（论文）

院（系）： 纺织服装学院

专 业： 纺织品检验与贸易

班 级： 纺贸 1711

学 生 姓 名： 吴琼

学 生 学 号： 17102016

设计(论文)题目： 蓖麻蚕茧丝与平板丝结构性能对比

指 导 教 师： 刘玲 周红涛

起 迄 日 期： 2019.8.5-2019.12.25

摘要

蓖麻蚕属于一种具有较高经济价值的蚕种之一，蓖麻蚕茧丝和平板丝同属于蛋白质纤维，蓖麻蚕平板丝是成熟的蚕虫在二维结构场所吐丝构成的平板丝，两者的纤维性能还是有一定的差异。本文就蓖麻蚕茧丝与蓖麻蚕平板丝的结构性能进行分析比较，研究了蓖麻蚕在二维结构场所编织出的一片平面丝块的成型过程，蓖麻蚕茧和平板丝的外观形态比较，透气透湿性能测试，强伸性测试，两种不同脱胶方法的对比，蓖麻蚕茧丝和蓖麻蚕平板丝的细度及回潮率测试，对脱胶前后的两种蚕丝进行拉伸断裂实验，探究其力学性能的变化，研究蓖麻蚕喂食添加功能纳米材料后生成的平面茧的结构和抗紫外线性能和力学性能。

实验结果表明：蓖麻蚕茧的外观和平板丝差异很大，外观形态不一样；透气性和透湿性蓖麻蚕平板丝优于蓖麻蚕茧丝；强伸性测试，蓖麻蚕平板丝强力值低于蓖麻蚕茧丝，不匀率高于蓖麻蚕茧丝；两种不同脱胶方法对比，两种纤维的脱胶率差异很小。蓖麻蚕茧丝的细度略高于蓖麻蚕平板丝；回潮率蓖麻蚕茧丝高一些；脱胶对蚕丝的拉伸断裂强力产生了不同程度的影响；改性平面茧结构均匀，防紫外线性能增强，力学性能提高，纳米材料的添加对蓖麻蚕的生长形态并无不良影响。

关键词：蓖麻蚕平板丝；蓖麻蚕茧丝；脱胶；拉伸性能；透气透湿

ABSTRACT

Castor silkworm belongs to one of silkworm eggs with high economic value. Castor silkworm cocoon silk and flat silk belong to protein fiber, but castor silkworm flat silk is a flat silk formed by mature silkworms spinning silk in a two-dimensional structure, and the fiber properties of the two are still somewhat different. In this paper, the structural properties of castor silkworm cocoon silk and castor silkworm flat silk are analyzed and compared. In this subject, the forming process of a piece of flat silk woven by castor silkworm in a two-dimensional structure, the appearance morphology comparison of castor silkworm cocoon and flat silk, and the testing of air permeability and moisture permeability are studied. Strong elongation test, comparison of two different degumming methods, fineness and moisture regain test of castor silkworm cocoon silk and castor silkworm flat silk, tensile fracture test of the two kinds of silk before and after degumming, to explore the changes of their mechanical properties. The experimental results show that the appearance of castor silkworm cocoons is very different from that of flat silk, and the appearance and shape are different. Castor silkworm flat silk is superior to castor silkworm cocoon silk in air permeability and moisture permeability. In the tensile test, the strength value of castor silkworm flat silk is lower than that of castor silkworm cocoon silk, and the unevenness is higher than that of castor silkworm cocoon silk. Compared with two different degumming methods, the degumming rate of the two fibers has little difference. The fineness of castor silkworm cocoon silk is slightly higher than that of castor silkworm flat silk. The moisture regain of castor silkworm cocoon silk is higher. Degumming has different effects on the mechanical properties of silk. Different points are expounded respectively, and comparative analysis is made to provide theoretical and application basis for their application in textile industry.

KeyWords : Castorsilkworm flat silk; Castor silk; Degumming; Tensile properties; Air permeability and moisture permeability

目录

摘要	I
ABSTRACT	II
第 1 章 前言.....	1
1.1 蓖麻蚕茧.....	1
1.2 蓖麻蚕平板丝.....	2
第 2 章 蓖麻蚕平板丝成型.....	4
2.1 蓖麻蚕改吐平板丝.....	4
2.1.1 吐丝板材料的选择.....	4
2.1.2 平板丝成型.....	4
2.2 蓖麻蚕平板丝的应用.....	5
2.3 蓖麻蚕平板丝开发利用的意义.....	5
第 3 章 蓖麻蚕茧和平板丝外观形态比较.....	6
3.1 蓖麻蚕茧和蓖麻蚕平板丝外观对比分析.....	6
3.1.1 实验仪器及材料.....	6
3.1.2 样品的观察分析.....	6
3.2 蓖麻蚕茧外观形态.....	7
3.2.1 外观形态结构.....	7
3.2.2 蓖麻蚕茧羽化孔.....	8
第 4 章 蓖麻蚕茧丝和平板丝性能测试分析.....	10
4.1 蓖麻蚕茧丝的构造.....	10
4.1.1 蓖麻蚕丝构成成份.....	10
4.1.2 蓖麻蚕茧丝与平板丝形态结构分析.....	10
4.2 蓖麻蚕茧丝和蓖麻蚕平板丝细度分析.....	11
4.2.1 实验仪器.....	11
4.2.2 实验数据及计算.....	11
4.3 回潮率检测.....	12

4.3.1 实验仪器及方法.....	12
4.3.2 实验数据及计算过程.....	13
第5章 蓖麻蚕茧和平板丝性能测试分析.....	15
5.1 透气透湿性能测试.....	15
5.1.1 透气性能测试.....	15
5.1.2 透湿性能测试.....	16
5.2 强伸性测试.....	18
5.2.1 实验仪器及材料.....	18
5.2.2 拉伸曲线.....	19
5.3 蓖麻蚕茧和平板丝含胶率测试.....	20
5.3.1 碳酸钠脱胶.....	20
5.3.2 超声空化脱胶和滚筒摩擦.....	21
5.4 蓖麻蚕茧丝与平板丝力学性能测试.....	23
5.4.1 拉伸断裂强力测试.....	23
5.4.2 脱胶后的力学性能测试.....	24
第6章 改性蓖麻蚕平面茧的制备及性能研究.....	26
6.1 改性蓖麻蚕平面茧的制备.....	26
6.1.1 材料准备.....	26
6.1.2 饲养试验.....	27
6.1.3 改性平面茧的成型.....	27
6.2 改性蓖麻蚕平面茧性能研究.....	27
6.2.1 喂食纳米材料对蚕丝表面形态结构的影响.....	27
6.2.2 喂食纳米材料对蚕丝二级结构的影响.....	28
6.2.3 喂食纳米材料对蚕丝力学性能的影响.....	29
6.2.4 喂食纳米材料对蚕丝抗紫外性能的影响.....	30
6.3 本章小结.....	31
第7章 结论.....	33
参考文献.....	34
致谢.....	36

第 1 章 前言

蓖麻蚕原产于印度是一种具有较高价值的蚕种，是产丝的重要蚕种之一。但因其头端有羽化孔，无法像桑蚕一样进行缫丝，只能绢纺而不能缫丝是蓖麻蚕的一个不足之处。随着浙江省富阳市农技部门于 1986 年春蚕试制平面茧获得了成功，改变了成熟蚕普通的三维结构吐丝方式，变为了二维结构吐丝方式，打破了通常蚕需要一个三维场所吐丝成茧的定义^[1]。利用其在成熟时吐丝的本性，强迫其改变吐丝条件，不给其营茧的簇具，而把蚕放在平面上吐丝成为像布一样的丝织物，称为平板丝。平板丝因其舒适柔软、性能优良可以根据生产要求任意裁剪的便利而应用广泛。主要产品有蚕丝被、蚕丝面膜基布、平面茧衣饰、高档丝绵被、丝棉类衣服的填充原料等。蓖麻蚕可以利用相同的方法进行制作蓖麻蚕平板丝，平板丝可以解决蓖麻蚕茧丝不能缫丝的缺点，使其具有更高的利用价值。

1.1 蓖麻蚕茧

蓖麻蚕的茧衣厚且多，茧层疏松且没有弹性，松紧差异比较大，茧衣约占茧层量 1/4。蓖麻蚕结茧后茧衣之间的联系比较密切，卵壳由坚固的卵壳质构成，壳外有胶质，彼此容易粘连在一起，所以蓖麻蚕茧往往形成串状联系在一起，如图 1-1、1-2 所示。单个蚕茧呈现两头尖细中间膨胀的纺锤型，也有的呈不规则的三角形，尾部封闭，蚕茧头部有一个出蛾的小孔，茧层与茧衣没有明显的分层，中层次之，内层紧密。蓖麻蚕茧层比较薄，分层明显，多为茧层，外层褶皱略模糊，中层分层明显，内层平坦。茧的厚薄也不一样，中部最厚，尾部中等，蚕茧头部最薄且疏松有一个出蛾小孔（羽化孔）。蓖麻蚕茧的长度为 5.5-6.2cm，茧幅 2.7-3.3cm。蚕茧颜色不一，大多数颜色为纯白色，少数为米色、淡黄色等，这与蓖麻蚕的品种和食用饲料有关，蓖麻蚕茧丝的光泽不如桑蚕丝明亮。蓖麻蚕茧头有一个出蛾的小孔（羽化孔），是蛾子羽化时的出口处，由于蓖麻蚕有羽化孔的原因，而无法像桑蚕丝一样缫丝，只适合绢纺，用来纺织高级的织物。



图 1-1 蓖麻蚕茧



图 1-2 蓖麻蚕茧

1.2 蓖麻蚕平板丝

蓖麻蚕成熟后需要提供一个三维结构场所吐丝成茧，如果不提供三维结构场所，而只具有二维结构场所，蓖麻蚕将难以吐丝成茧，而是编织出一片平面状的丝，即平板丝或平面丝。它改变了传统蚕必须作茧自缚才能吐丝的自然规律，利用蚕成熟时必须吐丝的本性，可以制作出天然的平板丝。



图 1-3 蓖麻蚕平板丝

本课题针对蓖麻蚕茧丝和蓖麻蚕平板丝的各项性能进行比较分析，本文研究

内容：

- （1）蓖麻蚕平板丝的成型过程；
- （2）蓖麻蚕茧和平板丝的外观结构分析；
- （3）蓖麻蚕茧丝和平板丝的微观形态结构比较；
- （4）蓖麻蚕茧和平板丝的透气透湿性能、强伸性、含胶率测试；
- （5）蓖麻蚕茧丝和平板丝的细度及回潮率测试；
- （6）蓖麻蚕茧丝和平板丝的拉伸性能测试及脱胶后的拉伸性能测试进行对比分析。
- （7）将纳米材料混入蓖麻叶，形成平面茧丝，与普通平板丝比较，检测其微观结构、测试其力学性能和功能性。

第 2 章 蓖麻蚕平板丝成型

2.1 蓖麻蚕改吐平板丝

蓖麻蚕平面茧是人们为了打破蚕正常的生理现象，改变了蓖麻蚕营茧所需要的簇具，采用平面状的吐丝床，迫使蓖麻蚕在平面上吐丝，蚕蛹就成了裸蛹。平面茧又称平板丝，因其没有蚕蛹的异味，蚕丝蓬松、柔软、舒适，平面状方便裁剪加工而被广泛利用^[2]。

2.1.1 吐丝板材料的选择

平板丝生产是把成熟的蚕置于准备好的吐丝装置中，不给蚕提供吐丝成茧的支点，强迫成熟的蚕改变传统的吐丝习性，在吐丝装置上形成平面平面（茧）丝。

蓖麻蚕平板丝制作对吐丝板的要求：（1）能尽量吸收多数水分，使吐丝装置适合成熟的蚕虫吐丝成片；（2）减少丝片的污染，改善丝片的清洁度和质量；（3）能承受成熟吐丝蚕虫的重量而不会下陷；（4）吐丝装置要没有让蚕虫吐丝成茧的支点；（5）要方便后续的采丝。按照上述要求目前可采用的吐丝装置有：塑料板具、纱窗网板具、三合板具、纸板具、竹编板具等^[3]作为吐丝平面的材料，并固定在以方木条为骨架的框架上而制成吐丝板。我们主要采用了竹编板具和纱窗网板具。吐丝板的规格，可以根据客户的使用要求进行制造。生产中我们主要采用了 200mm×200mm 的规格。

2.1.2 平板丝成型

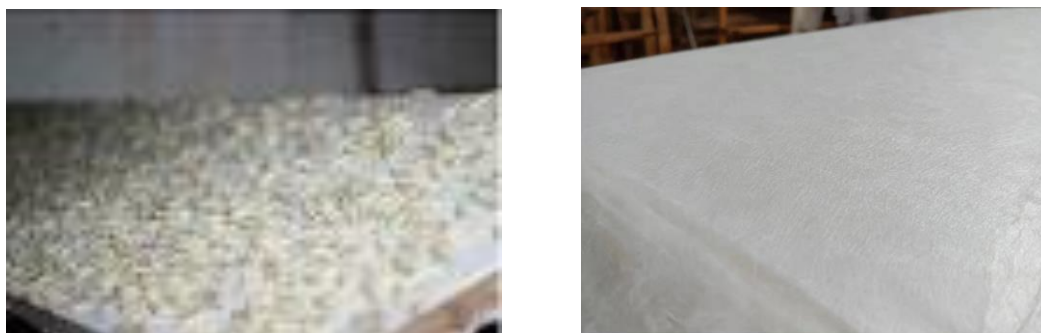


图 2-1 平板丝

首先准备好吐丝器具和装置，在吐丝器具上铺上一层薄薄的塑料膜，将成熟

的蚕儿放到垫有报纸的平面上过 10~12 小时，等待熟蚕排净粪便和尿后，将熟蚕均匀的放到吐丝床上。在黑暗环境中，为了防止熟蚕爬动，将温度设置为 25℃，相对湿度 86%，上簇蚕吐丝结束后，等待蚕化成蚕蛹后将蚕蛹取走，最后得到平板丝^[4]。

2.2 蓖麻蚕平板丝的应用

蓖麻蚕平板丝的制备，需要将成熟的蚕待排净粪便和尿后均匀的放到提前准备好的吐丝床上，待蓖麻蚕吐丝结束化成蚕蛹后，取出蚕蛹，最后得到平板丝。平板丝可以用来加工书画丝纸，将揭取后的平板丝，用清水冲洗，或采取漂白水进行漂白，悬挂，在阴凉处风干，压平，即可以在平板丝上进行写字作画。在清洗过程中，水温要低于 20℃，注意清洗或漂白过程不要超过 20 分钟。否则容易造成平板丝疏松，影响书画的光泽。在蚕丝纸上赋诗作画可以采取，染、绘、喷、洒、描等多种方式。漂白后的丝纸略微泛黄色，使作品看上去具有历史悠久感和收藏价值，蓖麻蚕平板丝书画纸作为书画素材，与其他书画素材比较起来，具有本身重量轻，携带便捷，制作成本低等优点^[5]。除此之外，蓖麻蚕平板丝还可以根据生产要求裁剪成任意形状。其主要产品有蚕丝被、蚕丝面膜基布、平板丝服饰、丝绵被、丝棉类衣服的填充原料等。

2.3 蓖麻蚕平板丝开发利用的意义

蓖麻蚕平板丝的生产提高了蓖麻蚕茧丝的使用价值和蓖麻蚕的经济价值。如果能够推广应用于生产和加工，对于开发利用蓖麻蚕茧丝资源，提高蓖麻蚕茧丝的经济价值具有积极的促进作用，而且养蚕人和蚕农也可从蚕丝的应用推广提高中获得更高的收益和经济收入，因此蓖麻蚕平板丝具有较高的推广应用价值。

第3章 蓖麻蚕茧和平板丝外观形态比较

3.1 蓖麻蚕茧和蓖麻蚕平板丝外观对比分析

3.1.1 实验仪器及材料

实验材料：蓖麻蚕茧、蓖麻蚕平板丝

实验仪器：高分辨率相机，拍照；

3.1.2 样品的观察分析



(a) 蓖麻蚕茧整体外观（左）



(b) 蓖麻蚕茧横切面（右）

图 3-1 蓖麻蚕茧整体外观



(a) 蓖麻蚕平板丝正面（左）



(b) 蓖麻蚕平板丝反面（右）

图 3-2 蓖麻蚕平板丝

蓖麻蚕茧整体呈纺锤型，茧层比较蓬松，茧衣与茧层有明显的分层，外层褶皱略模糊，中层明显，内层平坦，茧色呈淡黄色；蓖麻蚕平板丝由于蓖麻蚕改变吐丝习性得到的，茧色和蓖麻蚕茧丝一样有一点淡黄色，吐丝不是很均匀，正面茧丝比较蓬松和蓖麻蚕一样，反面比较平整光滑。蓖麻蚕茧比蓖麻蚕平板丝颜色

更洁净，但蓖麻蚕茧需要通过处理加工后才能进行生产。

3.2 蓖麻蚕茧外观形态

3.2.1 外观形态结构



图 3-3 蓖麻蚕茧

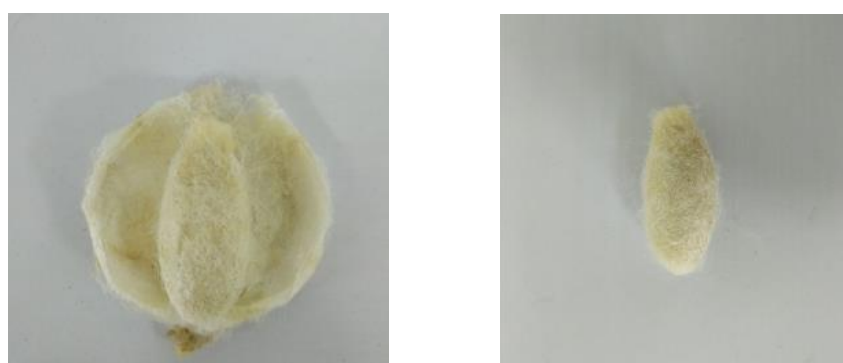


图 3-4 剥开茧衣的蓖麻蚕茧腔



图 3-5 蓖麻蚕茧腔



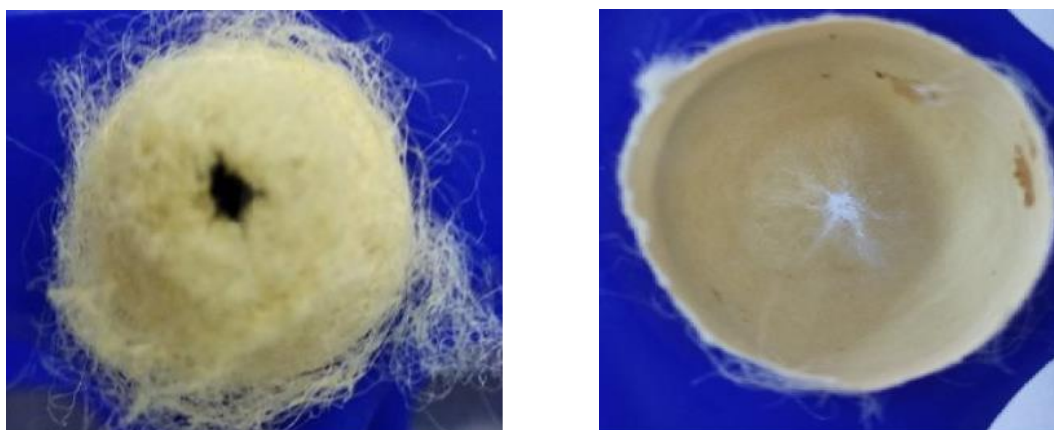
图 3-6 蓖麻蚕茧层

蓖麻蚕茧的整体长度约为 5.6~6.3cm,茧幅约为 2.6~3.4cm; 茧的头部有一羽化孔, 但无茧柄, 是蛾子羽化时的出口处。一般全茧层量 0.2761~0.4614g, 茧衣厚而多, 茧衣与茧层间缺乏明显的界限, 约占茧层量的四分之一。

如图（3-4、3-5）所示, 剥开外层茧衣的蓖麻蚕茧腔, 外部茧衣蓬松柔软, 内部茧腔近似椭圆形。茧腔的形状差不多, 呈椭圆形。蓖麻蚕茧茧腔的尺寸基本在 4.5-5.3cm 之间, 虽然蓖麻蚕茧衣外形相差很大, 形状不一, 除去茧衣后内部茧腔形状基本一致。

如图（3-6）所示蓖麻蚕茧茧衣比较厚重, 具有明显的分层, 大概 4-6 层, 茧层比较疏松, 茧层各部分厚薄不匀, 茧衣和茧层比较难剥离。

3.2.2 蓖麻蚕茧羽化孔



蓖麻蚕茧羽化孔外侧（左）

蓖麻蚕茧羽化孔内侧（右）

图 3-7 蓖麻蚕茧羽化孔



图 3-8 蓖麻蚕茧羽化孔

如图（3-7、3-8）所示蓖麻蚕羽化孔一般在蓖麻蚕茧的头端。蓖麻蚕羽化孔的内侧和外侧，呈现不规则的圆形，像星辐射的形状，外侧表面羽化孔周围有蚕丝覆盖，羽化孔内部有明显的星辐射状和褶皱，蚕茧羽化孔口径约为 0.2~0.3cm。

第4章 蓖麻蚕茧丝和平板丝性能测试分析

4.1 蓖麻蚕茧丝的构造

4.1.1 蓖麻蚕丝构成成份

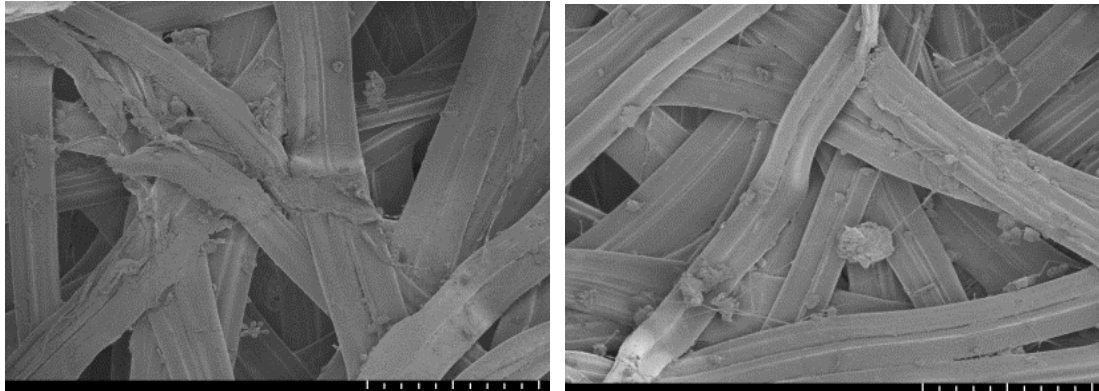
蓖麻蚕茧丝的横截面形状与桑蚕丝相类似但锐角较小，截面呈现麻纹并有孔隙，但其比桑蚕丝更为扁。每根茧丝由两根单纤维并列而成，其含丝胶量约为10%^[13]，丝素约为85%-92%，杂质约为1.5%-4.0%。丝的细度约为1.65-3.3dtex，强度比桑蚕丝低，比一般天然纤维强度要高一些，手感柔软，服用性能优良。其耐酸性与桑蚕丝相接近，而耐碱性比桑蚕丝高一些，适合绢纺纱。

4.1.2 蓖麻蚕茧丝与平板丝形态结构分析

实验材料：蓖麻蚕茧丝、蓖麻蚕平板丝

实验仪器：SEM 扫描电镜 型号：QUANTA200 生产厂家：深圳瑞盛科技有限公司。

扫描电镜实验：扫描电镜表面特征是在电子显微镜上完成，将未处理过蓖麻蚕茧丝和蓖麻蚕平板丝放在电子显微镜上进行测试，对样品进行SEM表征。

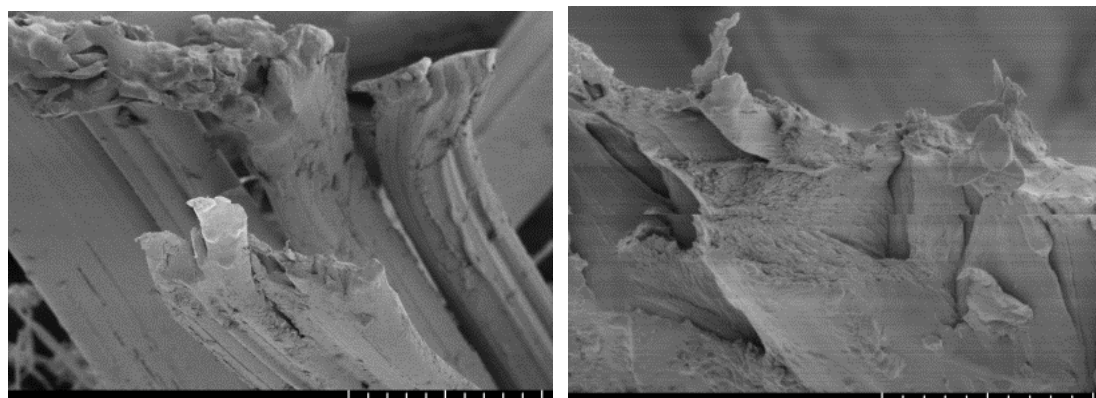


(a) 蓖麻蚕茧丝表面（左）

(b) 蓖麻蚕平板丝表面（右）

图 4-1 蓖麻蚕茧丝和蓖麻蚕平板丝表面形态

蓖麻蚕茧丝表面蚕丝穿插交集，丝与丝之间比较疏松，且杂乱，这就是造成蓖麻蚕茧外壳比较蓬松、多层的原因；蓖麻蚕平板丝，表面上能明显看出来蓖麻蚕平板丝和蓖麻蚕茧丝一样扁平，表面有草酸钙晶体，丝与丝之间的穿插交错跟蓖麻蚕茧丝一样疏松、多孔，相对来说蓖麻蚕平板丝比蓖麻蚕茧丝更柔软、舒适，所以通常蓖麻蚕平板丝用来制作蚕丝被。



(a) 蓖麻蚕茧丝横截面（左）

(b) 蓖麻蚕平板丝横截面（右）

图 4-2 蓖麻蚕茧丝和蓖麻蚕平板丝横截面形态

蓖麻蚕茧丝横截面呈扁平状，周围有丝胶包裹着，纵向有明显的条纹，蚕丝中央凸点明显，使纤维表面反射光较弱；蓖麻蚕平板丝横截面和蓖麻蚕茧丝横截面差不多都为扁平状，茧丝层次之间比较明显，有明显的纵向条纹，纤维光泽度不如桑蚕丝。

4.2 蓖麻蚕茧丝和蓖麻蚕平板丝细度分析

4.2.1 实验仪器

试验仪器：中断切断器 隔距：20mm，中断切断器用来切断蚕丝，使蚕丝样品长度统一，便于计算样品总长度和实验准确性。电子天平 型号：FA2004 生产厂家：上海舜宇恒平科学仪器有限公司，电子天平用来称取样品重量，以便于后面计算。

实验材料：蓖麻蚕茧丝、蓖麻蚕平板丝。

实验过程：分别取 100 根蓖麻蚕茧丝和蓖麻蚕平板丝，将蚕丝整理整齐，一人扯蚕丝两边将蚕丝放到中断切断器上（扯蚕丝两头是为了防止蚕丝不整齐长度不一），另一人按压中断切断器将蚕丝切断，确保蚕丝两头全部切断后，将两边切断的多余蚕丝拿掉。将按压下去的切断器缓慢打开，确保所有蚕丝都在切断器中。提前将电子天平归零设置好，将切断后的蚕丝从切断器中小心取出，放到提前设置好的电子天平上称重，记录克重，方便后续的计算。

4.2.2 实验数据及计算

表 4-1 线密度测试

名称	根数	隔距(mm)	总长度(M)	重量 (g)	线密度
蓖麻蚕茧丝	100	20	2	0.0006	3dtex
平板丝	100	20	2	0.00056	2.8dtex

计算公式:

$$Nden = \frac{9000 * Gk}{L}; \frac{Nden}{Tt} \quad 1tex = 10dtex$$

$Nden$ – 纤维的旦尼尔数，简称旦；

L – 纤维的长度，m；

Gk – 纤维的公量，g；

Tt – 纤维的线密度， tex ^[14]。

计算过程:

$$\text{长度: } L = 20 * 100 = 2000 \text{ mm} = 2M$$

$$\text{蓖麻蚕茧丝: } Nden: \frac{9000 * 0.0006}{2} = 2.7; \frac{2.7}{9} = 0.3tex$$

$$0.3tex = 3dtex$$

$$\text{蓖麻蚕平板丝: } Nden: \frac{9000 * 0.00056}{2} = 2.52; \frac{2.52}{9} = 0.28tex$$

$$0.28tex = 2.8dtex$$

计算结果得出：蓖麻蚕茧丝线密度为 3dtex，蓖麻蚕平板丝线密度为 2.8dtex，两者相比较来说，蓖麻蚕茧丝比蓖麻蚕平板丝线密度略大些，两种蚕丝的细度相差不是很大。

4.3 回潮率检测

4.3.1 实验仪器及方法

实验仪器：八篮恒温烘箱 型号：Y802A 生产厂家：常州纺织仪器厂；剪刀；
电子天平 型号：FA2004 生产厂家：上海舜宇恒平科学仪器有限公司

实验方法：按照 GB/T9995-1997 纺织材料含水率和回潮率的测定标准采用烘箱干燥法进行测定试样的回潮率。

实验材料：蓖麻蚕茧丝、蓖麻蚕平板丝

实验过程：首先找两个篮筐称取各自重量，分别命名篮筐①，篮筐②；取样，

抽取蓖麻蚕茧丝，取重量为 5g；用剪刀裁取蓖麻蚕平板丝称重，取重量为 5g。取样的同时提前将烘箱打开预热，烘箱温度设置为 80℃（温度过高会破坏蚕丝不利于实验准确性，为了实验数据准确性将温度设置为 80℃）将取的两种样品分别放到篮筐①，篮筐②中，烘箱温度达到 80℃时将放好蚕丝的两个篮筐放入烘箱中进行烘干，烘干前的框重和蚕丝总重量命名为 G1，蓖麻蚕茧丝重和框总重命名为 H1；20min 后称重分别命名为 G2，H2；40min 后称重分别命名为 G3,H3.....以此类推，当烘干前的一个重量减去烘干后的重量除以烘干后的重量小于等于 0.05% 时，就可以不用继续烘干了，这时最后一次烘干的重量（G3）就是我们要取的最后值。

4.3.2 实验数据及计算过程

表 4-2 回潮率测试

名称	初始重量(g) G1/H1	40min(g) G2/H2	60min(g) G3/H3	80min(g) G4/H4	回潮率%
蓖麻蚕茧丝	85.9352	85.4466	85.2841	85.2637	15.5
平板丝	83.1445	82.6659	82.5034	82.4830	15.2

注：初始重量为篮筐加蚕丝的总重量。

计算公式：

$$W = \frac{G_{湿} - G_{干}}{G_{干}} * 100\% \quad (4.1)$$

W - 回潮率，%

G_湿 - 蚕丝湿重，g；

G_干 - 蚕丝干重，g.

计算过程：篮筐①重量为 80.9352g（蓖麻蚕茧丝）；篮筐②重量为 78.1445g（蓖麻蚕平板丝）。

蓖麻蚕茧丝

$$\therefore \frac{G_3 - G_4}{G_4} * 100\% = 0.02\% \leq 0.05\% \therefore G_4 \text{ 为最后要取的干重}$$

烘干后的蓖麻蚕茧丝重量为：

$$G_4 - 80.9352 = 85.2637 - 80.9352 = 4.3258 \text{ (g)}$$

$$\text{蓖麻蚕茧丝回潮率为：} W = \frac{5 - 4.3258}{4.3258} * 100\% = 15.5\%$$

蓖麻蚕平板丝

$$\therefore \frac{H_3 - H_4}{H_4} * 100\% = 0.02\% \leq 0.05\% \therefore H_4 \text{ 为最后要取的干重}$$

烘干后的蓖麻蚕平板丝重量为：

$$H4 - 78.1445 = 82.4830 - 78.1445 = 4.3385 \text{ (g)}$$

蓖麻蚕平板丝回潮率：
$$W = \frac{5 - 4.3385}{4.3385} * 100\% = 15.2\%$$

计算结果得出：蓖麻蚕茧丝的回潮率略高于蓖麻蚕平板丝的回潮率，说明蓖麻蚕茧丝的吸湿性能相对于蓖麻蚕平板丝较好一些，性能更优良。但相比较来说这两种蚕丝的回潮率都比较高，说明蚕丝的吸湿性能良好，比一般纤维要好。因为蚕丝的丝蛋白中含有一种叫“亲水侧链氨基酸”的物质，这种物质能够迅速有效的吸收湿气，保持干燥，所以蚕丝的吸湿性能优良。

第5章 蓖麻蚕茧和平板丝性能测试分析

为了研究结构的改变,是否会影响平板丝的含胶率,以及透气和透湿性能,本章主要通过测试分析蓖麻蚕茧与平板丝(茧)的透气与透湿性能、强伸性能,测试这两种结构蚕茧的含胶率,并作对比与分析。

5.1 透气透湿性能测试

5.1.1 透气性能测试

实验材料:蓖麻蚕茧、蓖麻蚕平板丝

实验仪器:透气性能测试仪 型号:YG461E 型 生产厂家:莱州市电子仪器有限公司

实验过程:根据 GB/T5453-1997《纺织品织物透气性的测定》

(1)取样,将蓖麻蚕茧用剪刀剖开能取出蚕茧里面的蚕蛹就可以了(不要将蚕蛹对半剪断),处理好蚕茧里面的蚕蛹和粪便等。样品待用;用剪刀裁剪蓖麻蚕平板丝,裁剪成合适大小的样品备用。

(2)操作步骤

①参数设置 a.透气率/透气量的设定。按下“设定”键,进入设置,“试样压差”字段闪烁,这时按切换键。b.测试面积的设定。透气率/透气量设定后,选择透气率测定,有 5cm^2 、 20cm^2 、 50cm^2 、 100cm^2 四种面积可供选择。本次实验选择面积为 5cm^2 。c.喷嘴直径的设定,选择合适的喷嘴直径。

②装试样 把试样放到已选好的定值圈上,试样放好后,压下样品的压紧圈压紧试样。(由于蓖麻蚕茧特殊的形状不易固定,密封性不是很好,所以在与试样面积接触的定值圈表面粘贴双面胶以固定蚕茧,保证其密封性)

③测试 按“工作键”,仪器进入校零(校正指示灯亮),校零完成后,蜂鸣器发出短声“嘟”,仪器自动进入测试状态,测试完毕显示实验数据。

④重复以上操作,测试其他试样^[6]。通过上述步骤分别测试蓖麻蚕茧和蓖麻蚕平板丝的透气率。



图 5-1 蓖麻蚕茧透气性能测试



图 5-2 蓖麻蚕平板丝透气性能测试

实验数据：

表 5-1 透气性能测试

名称	厚度 (mm)	试样压差 (pa)	透气率 (mm/s)
蓖麻蚕茧	2	100	63.698
蓖麻蚕平板丝	2	100	1100

实验结论：蓖麻蚕平板丝是蓖麻蚕改变传统的吐丝习性得到的像布料一样的蚕丝，由于这种平板丝和蓖麻蚕茧的外观结构不太一样（蓖麻蚕茧丝有茧壳整体呈纺锤型，而蓖麻蚕平板丝就是平面丝），所以导致两种蚕丝的透气性相差很大，平板丝透气性要比蓖麻蚕茧的透气性好很多。相比较来说蓖麻蚕茧丝的保暖性要比蓖麻蚕平板丝更优良一些。

5.1.2 透湿性能测试

实验材料：蓖麻蚕茧、蓖麻蚕平板丝

实验仪器：透湿实验箱 型号：YG501。

名称：电子天平 型号：FA2004 生产厂家：上海舜宇恒平科学仪器有限公司

司。

实验过程：根据 GB /T 12704—1991《织物透湿量测定方法透湿杯法》标准，利用透湿性测试仪测试蓖麻蚕茧和蓖麻蚕平板丝的透湿率，分别进行比较。

操作步骤：

(1) 向干净的杯体内装入吸湿剂，装入的吸湿剂应该形成一个平面，吸湿剂的高度应在距离试样的下表面 2~3mm 处。

(2) 将吸湿剂放在烘箱中在，160℃温度下烘 3 h。

(3) 放入适量的烘过的吸湿剂到杯体中，将试样测试面朝上放置在杯体上，装上垫圈和压环，旋上螺帽，再用乙烯胶带从侧面将杯体封住、橡胶垫圈和压环，组成实验组合体。

(4) 将装有试样的实验组合体放到电子天平上称重，精确至 0.001g，每个实验组合体称重时间不超过 30s。

(5) 将实验组合体放入烘箱内，气流速度为 0.3~0.5 mm/s，温度为 38℃，湿度为 90%，分别经过 30 min，60min，90min，120min 后取出称重。

(6) 透湿杯直径为 80 mm 的试样,考虑到蓖麻蚕茧的尺寸不好固定，将蓖麻蚕茧直接固定在 PE 薄膜上，有效试验直径为 2cm。



图 5-3 蓖麻蚕茧透湿性

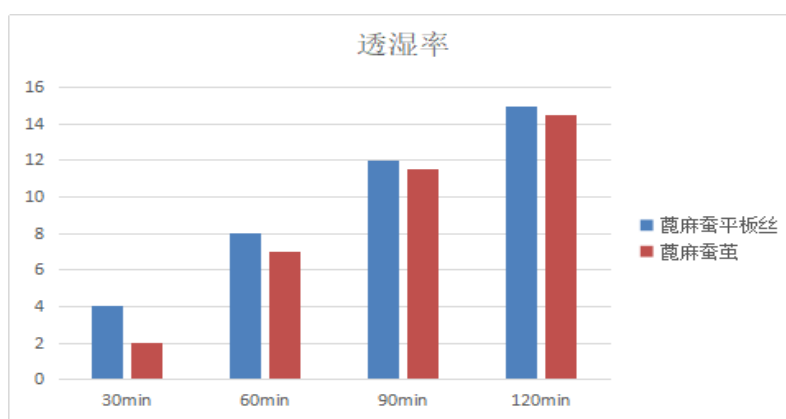


图 5-4 蓖麻蚕平板丝与蓖麻蚕茧的透湿率

从试验结果看：蓖麻蚕平板丝随着时间不断增加，透湿率上升速度快；蓖麻蚕茧刚开始缓慢，慢慢上升速度增加，透湿率和蓖麻蚕平板丝差不多。

5.2 强伸性测试

5.2.1 实验仪器及材料

实验材料：蓖麻蚕茧，蓖麻蚕平板丝

实验仪器：电子织物强力仪 型号：YG065C 生产厂家：莱州市电子仪器有限公司，剪刀等。

实验过程：

（1）取样，试样制备，采用螺旋取样法将蓖麻蚕茧裁剪成有效宽度为 5mm, 厚度为 2mm, $\alpha=20^\circ$ 的实验样品备用（需要裁剪十个蓖麻蚕茧样品）；将蓖麻蚕平板丝裁剪成有效宽度为 5mm, 厚度为 2mm 的试样备用（同上述一样裁剪十个蓖麻蚕平板丝样品）。

本次试验采用螺旋取样法： $\alpha=20^\circ$ ，有效实验宽度为 5mm, 厚度为 2mm, 拉伸距离 50mm, 速度：2mm/min. 如（图 4-5）所示



图 5-5 蓖麻蚕茧螺旋取样

（2）实验步骤：

- ①实验与电脑联机，首先打开电脑，打开软件进行数据设置和联机设置；
- ②打开仪器进行数据设置，隔距设定、实验速度设定；
- ③将试样夹持到仪器上保持有效实验长度是 50mm；
- ④准备好后进行实验，重复以上步骤。

拉伸后的试样如图（5-6）所示：



图 5-6 左蓖麻蚕茧、右蓖麻蚕平板丝)

5.2.2 拉伸曲线

本次测试，蓖麻蚕茧、蓖麻蚕平板丝各测试 30 个样本，测试测试结果取平均值，测试结果如下：

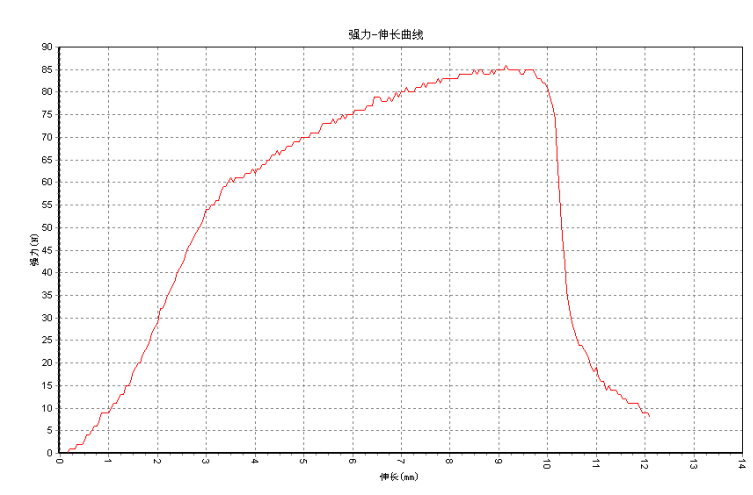


图 5-7 蓖麻平板丝拉伸曲线

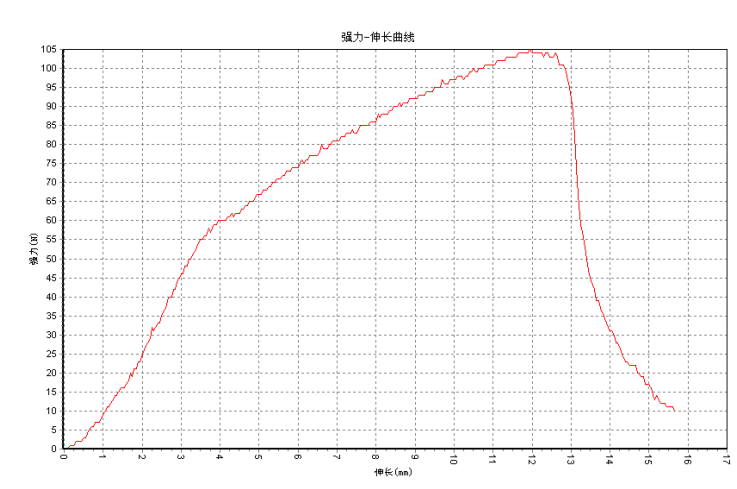


图 5-8 蓖麻蚕茧拉伸曲线

图 5-7 中, 蓖麻蚕平板丝平均断裂强力为 84.6N, CV 值为 22.26%; 平均伸长率为 24%, CV 值为 26.03%;

图 5-8 中, 蓖麻蚕茧平均断裂强力为 104.3N, CV 值为 28.21%。平均伸长率为 31.2%, CV 值为 20.18%。

蓖麻蚕茧丝表面蚕丝穿插交集且杂乱, 蚕茧结构相对紧密; 蓖麻蚕平板丝表面有草酸钙晶体, 丝与丝之间的穿插交错, 相对来说比蓖麻蚕茧丝更疏松柔软、不如蚕茧紧密, 因此表现出蓖麻蚕平板丝断裂强力和断裂伸长率低于蓖麻蚕茧。

5.3 蓖麻蚕茧和平板丝含胶率测试

5.3.1 碳酸钠脱胶

5.3.1.1 实验原理、仪器及材料

实验原理: 通过化学试剂无水碳酸钠与蚕丝薄膜表面复合胶层的接触, 溶胀胶层使胶层与基体剥离, 从而实现蚕丝丝胶与丝素的脱离, 达到脱胶效果。

实验材料: 蓖麻蚕茧、蓖麻蚕平板丝

实验仪器: 电热恒温水浴锅 型号: 202-1 生产厂家: 上海博讯实业有限公司医疗设备厂; 电子天平 型号: FA2004 生产厂家: 上海舜宇恒平科学仪器有限公司; 篮恒温烘箱 型号: Y802A 生产厂家: 常州纺织仪器厂。

实验药品: 无水碳酸钠[分析纯 (Na_2CO_3)], 生产厂家: 江苏强盛功能化学股份有限公司

实验过程:

(1) 取样: 先用剪刀对半剪开蓖麻蚕茧, 处理好蚕茧内部的死去的蚕蛹尸体和粪便等, 待用。用剪刀裁取一定量的蓖麻蚕平板丝, 待用;

(2) 开启水浴锅, 设置实验所需的温度, 使其提前升温, 节省实验所需时间;

(3) 电子天平称取碳酸钠粉末, 配置质量分数为 0.2% 碳酸钠溶液

(4) 将试样与配置好的碳酸钠溶液置于烧杯内, 浴比 1: 100, 待水浴锅达到温度时将弄好的烧杯放入水浴锅中脱胶 30min (因为实验是在水浴锅中进行, 没办法严格的控制固定的浴比, 要抵抗水分蒸发, 同时要保证液面是浸过试样的, 由于实验中途时间比较长, 所以要隔一段时间添加适量的水, 达到一个全时间段良好的脱胶效果)

(5) 脱胶后取出蚕丝用 40℃ 左右的去离子水反复清洗后, 放入烘箱中烘

干, 检验脱胶程度, 直至完全脱胶^[7]。

脱胶率公式:

$$\text{脱胶率} = \frac{W1 - W2}{W1} * 100\% \quad (5.1)$$

式中: W1--为脱胶前生丝的干质量;

W2--为脱胶后蚕丝的干质量。

每种方法所得的蚕丝脱胶率需测两次, 如果两次测得样品的脱胶率相差在 0.5% 以上, 则必须取第 3 份样品以同样方法进行检验, 最后以 3 份样品的平均脱胶率作为蚕丝的脱胶率^[8]。

5.3.1.2 实验数据

表 5-2 蓖麻蚕茧脱胶率测试

蓖麻蚕茧脱胶重量	第一组	第二组
脱胶前(g)	0.2969	0.2916
脱胶后(g)	0.2624	0.2571
脱胶率(g)	11.6%	11.8%

脱胶率平均值: 11.7%

表 5-3 蓖麻蚕平板丝脱胶率测试

蓖麻蚕平板丝脱胶重量	第一组	第二组
脱胶前(g)	0.2914	0.2920
脱胶后(g)	0.2569	0.2584
脱胶率(g)	11.8%	11.5%

脱胶率平均值: 11.65%

5.3.2 超声空化脱胶和滚筒摩擦

5.3.2.1 实验原理及仪器

实验原理: 蚕丝含胶率快速测试仪器, 利用仪器中主要的脱胶机构滚筒和超声振荡器, 滚筒内壁呈凹凸状, 上面均匀分布着小孔, 在旋转过程中, 蚕丝与滚筒内壁反复摩擦, 加速丝胶与丝素的分离。利用超声波空化作用对蚕丝进行快速高效脱胶, 最终使丝胶丝素彻底分离, 进而测试蚕丝含胶率。

实验材料: 蓖麻蚕茧、蓖麻蚕平板丝

实验仪器: 超声空化脱胶和滚筒摩擦的蚕丝含胶率测试仪器

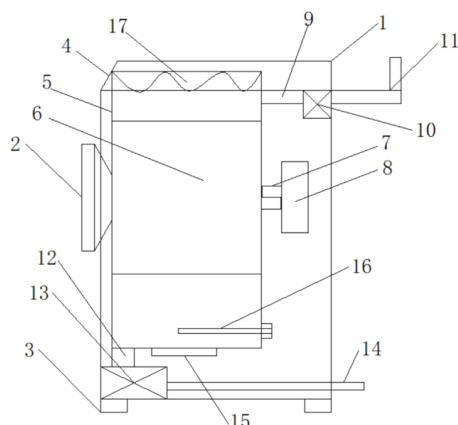


图 5-8 滚筒法

实验过程：测试前将待测纤维烘干后称重记为 G_0 。打开机门，将样品放入滚筒中。从外进水管将纯水引到水箱中，水箱中的纯水位要超过滚筒最下端 2-3cm。通过控制面板设置超声波振荡频率、加热温度、工作时间、烘烤时间，加热温度可设定 50°C - 80°C ，蓖麻蚕茧丝时间一般设定在 30-40min 之间。打开超声波振荡器和电热器，超声波频率控制在 20-40kHz，功率为 $1\text{kw}^{[9]}$ ，由于超声波的“空化”作用，使纯水与纤维快速充分润湿渗透，胶与纤维不断地分离。启动变频电机，变频电机通过转轴带动滚筒高速旋转，在旋转过程中，纤维与滚筒内壁反复摩擦，加速胶与纤维的分离。脱胶时间完成后，关闭超声波振荡器和电热器，打开排水阀，脱胶后的溶液通过过滤器从出水管中排出，排水结束后启动脱水程序，滚筒高速旋转，将残留在纤维上的多余水分甩干，脱水结束后，启动红外干燥器，对脱水后的纤维进行快速烘烤，烘烤结束后，关闭红外干燥器，将纤维从滚筒和过滤器中快速取出烘干称重记为 G_1 ，则纤维含胶率可表示为^[10-11]：

$$\text{蚕丝含胶} = \frac{(G_0 - G_1)}{G_0} \times 100\% \quad (5.2)$$

5.3.2.2 实验数据

按照 FZ/T 40004-2009《蚕丝含胶率试验方法》的取样要求，取两份试样，每份试样 $20\text{g} \pm 2\text{g}$ 。按照 GB/T9995《纺织材料含水率和回潮率的测定 烘箱干燥法》的规定分别将两份试样烘至恒重^[12]，称记脱胶前干重 G_0 ，然后将两份试样分别放入含胶率测试仪器中，按照上述程序对其进行脱胶。从滚筒和过滤器中取出烘干的蚕丝样品，称重记为 G_1 ，根据公式进行计算。

表 5-4 蓖麻蚕茧脱胶率测试

蓖麻蚕茧脱胶重量	第一组	第二组
脱胶前(g)	19.71	19.65
脱胶后(g)	17.5	17.55
脱胶率(g)	11.1%	10.6%

蓖麻蚕茧脱胶率平均值：10.85%

表 5-5 蓖麻蚕平板丝脱胶率测试

蓖麻蚕平板丝脱胶重量	第一组	第二组
脱胶前(g)	20.29	20.25
脱胶后(g)	18.1	18.05
脱胶率(g)	10.7%	10.8%

蓖麻蚕平板丝脱胶率平均值：10.75%

实验结果表明：两种方法测得的蓖麻蚕茧和蓖麻蚕平板丝的含胶率差异很小，碳酸钠脱胶的含胶率比超声空化滚筒脱胶方法高 1% 左右。两种蚕丝的含胶率都在 10%-12% 左右。

5.4 蓖麻蚕茧丝与平板丝力学性能测试

5.4.1 拉伸断裂强力测试

实验仪器：电子单丝强力测验仪 型号：TY-06A/PC 生产厂家：江阴市通源纺机有限公司。

实验材料：蓖麻蚕茧丝、蓖麻蚕平板丝。

实验过程：将蓖麻蚕茧丝、蓖麻蚕平板丝,在TY-06A/PC 型电子单丝强力测验仪,进行单丝拉伸实验。将试样从多个角度(正反,边缘、中心与两头等)进行抽丝,每块上选取四根单丝,扩大实验数据的代表性,选取的单丝要长度适中。

按使用说明书调试单丝强力仪,先按“启动”,启动机器,进行校准设置在下端放置一个 10g 的砝码,调试使得机器显示拉伸力度为 10N,这就证明了机器显示的拉伸力度是准确的,设置数据参数。将夹头拿下来,照着桌子上的黑色平板将单丝一端送入上夹头,旋动松紧柄,然后挂上去,竖直悬挂下来,单丝下端夹在机器下端的夹子上,保证其微微绷紧的状态下,按启动指令,下夹头下降,直至将单丝拉断。测定试样,记录数据。

表 5-6 蓖麻蚕丝脱胶前力学性能测试

蓖麻蚕丝	强力 F (cN)	强度 cN/dt	伸长 L(mm)	断裂功 W(mJ)	时间 T(s)
1	15.24	27.30	1.41	0.08	4.90
2	17.65	28.10	2.78	0.12	4.00
3	16.01	27.10	8.14	0.06	15.03
4	15.36	29.05	3.36	0.04	12.14
平均值	16.06	27.88	3.92	0.075	9.01

表 5-7 蓖麻蚕平板丝脱胶前力学性能测试

蓖麻蚕平板丝	强力 F (cN)	强度 cN/dt	伸长 L(mm)	断裂功 W(mJ)	时间 T(s)
1	19.08	28.14	1.89	0.13	7.11
2	20.11	29.10	2.10	0.11	4.25
3	21.13	30.05	2.50	0.14	3.85
4	22.24	27.36	2.07	0.18	4.24
平均值	20.64	28.66	2.14	0.14	4.86

5.4.2 脱胶后的力学性能测试

实验仪器：电子单丝强力测验仪 型号：TY-06A/PC 生产厂家：江阴市通源纺机有限公司

实验材料：蓖麻蚕茧丝、蓖麻蚕平板丝（脱胶后）

实验过程：将（脱胶后）蓖麻蚕茧丝、蓖麻蚕平板丝,在TY-06A/PC型电子单丝强力测验仪，进行单丝拉伸实验。将试样从多个角度（正反，边缘、中心与两头等）进行抽丝，每块上选取四根单丝，扩大实验数据的代表性，选取的单丝要长度适中。

按使用说明书调试单丝强力仪，先按“启动”，启动机器，进行校准设置在下端放置一个 10g 的砝码，调试使得机器显示拉伸力度为 10N，这就证明了机器显示的拉伸力度是准确的，设置数据参数。将夹头拿下来，照着桌子上的黑色平板将单丝一端送入上夹头，旋动松紧柄,然后挂上去，竖直悬挂下来，单丝下端夹在机器下端的夹子上，保证其微微绷紧的状态下，按启动指令，下夹头下降，直至将单丝拉断。测定试样，记录数据。

表 5-8 蓖麻蚕丝脱胶后力学性能测试

蓖麻蚕丝	强力 F (cN)	强度 cN/dt	伸长 L(mm)	断裂功 W(mJ)	时间 T(s)
1	15.25	28.03	0.81	0.05	9.02
2	16.25	27.10	1.03	0.01	3.97
3	15.50	29.07	2.50	0.02	4.25
4	15.78	27.24	2.07	0.04	3.34
平均值	15.69	27.86	1.6	0.03	5.16

表 5-9 蓖麻蚕平板丝脱胶后力学性能测试

蓖麻蚕平板丝	强力 F (cN)	强度 cN/dt	伸长 L(mm)	断裂功 W(mJ)	时间 T(s)
1	18.36	28.78	2.37	0.02	4.19
2	19.21	27.31	2.78	0.01	2.78
3	19.37	28.10	2.10	0.06	3.45
4	18.10	29.06	2.31	0.04	3.97
平均值	18.76	28.31	2.39	0.03	3.59

测试结果表明：对比蓖麻蚕茧丝与平板丝，完全脱胶后的蓖麻蚕平板丝的平均强力要高于蓖麻蚕茧丝的平均强力。蓖麻平板丝比蓖麻蚕茧丝强力好，由于熟蚕吐丝时，平板丝有牵引，使得取向度增大，进而强力增加，使平板丝强力高于普通蓖麻蚕茧丝。

第6章 改性蓖麻蚕平面茧的制备及性能研究

蓖麻蚕丝存在强度低，防紫外和抗菌性能一般的特点，限制了其应用领域及规模化推广。

许多学者以家蚕为对象，致力于改性蚕丝的研究。其中纳米二氧化钛(TiO_2)和氧化石墨烯(GO)以其原料易得、性能独特等优点，在家蚕丝性能改性方面得到了较为广泛的研究与应用。Pan 等^[15]将纳米 TiO_2 混入再生丝素蛋白溶液中，利用干法纺丝得到韧性较好的再生蚕丝。也有许多研究者关注于纳米 TiO_2 对真丝织物的抗紫外及抗黄变的影响^[16-18]。GO 不仅在复合材料中表现出优异的力学性能，还有相对良好的生物相容性，其纳米复合材料已经成为各国学者研究的热点之一^[19-22]。有学者研究了 GO 和丝素蛋白形成的复合材料，用丝素蛋白和 GO 水凝胶制备了具有层状结构和优异力学性能的复合膜材料^[23]。通过给蚕添食功能材料育蚕也是蚕丝改性研究的热点，目前大多添加的是染料类的物质，其结果便于观察，也有一些添食其他材料的相关报道。

本章将以蓖麻蚕为研究对象，将纳米 TiO_2 和氧化石墨烯单独或者一起混入蓖麻叶，通过蓖麻蚕自身的吸收转化，得到结合稳定，力学性能优异，并带有某些功能性的天然改性蚕丝，诱导其生产平面茧材，可直接作为无纺产品的加工原料，弥补蚕茧自身结构原因对其产业化开发的限制，为茧材的直接应用提供一种思路。

6.1 改性蓖麻蚕平面茧的制备

6.1.1 材料准备

实验用的蓖麻蚕由中国农业科学院蚕业研究所（镇江）提供，其他用于研究的化学品由上海化学试剂有限公司(上海)购买。氧化石墨烯(GO),浓度为 2mg/mL ，平均粒径 $300-500\text{nm}$ ，苏州恒球科技有限公司； TiO_2 ，粒径范围： $50-100\text{nm}$ ，江苏天行新材料有限公司（淮安）。

配制浓度为 2% 的 TiO_2 溶液，GO 溶液按照体积比 $1:3$ 进行稀释，最终得到浓度为 0.5mg/mL 的溶液，两种溶液按照体积比 $1:1$ 进行混合，进行超声处理 $20-30\text{min}$ ，使混合液中纳米粒子均匀分散。将混合溶液分别装在小喷壶中，均匀喷在平铺的蓖麻叶上，静置待晾干后，收集备用。

6.1.2 饲养试验

蓖麻蚕一龄至四龄期间均在温度(20 ± 2) $^{\circ}\text{C}$,相对湿度(65 ± 10)%的环境下喂食普通蓖麻叶。五龄第一天,将蓖麻蚕分为4组,每组20-30头,普通组继续喂食普通蓖麻叶,标记为NFC,实验组分别喂食单独喷有 TiO_2 、GO溶液以及 TiO_2 和GO混合液的蓖麻叶,分别标记为TFC, GFC, MFC。五龄期是蚕大量取食、丝腺急速发育的阶段,并且蚕生长较为成熟,不易死亡,此时是喂养蓖麻蚕喷洒过实验材料蓖麻叶的最佳时机。

6.1.3 改性平面茧的成型

五龄期结束,蓖麻蚕准备结茧,将四组蓖麻蚕分别放到 30×30 ($\text{cm}\times\text{cm}$)的平面吐丝板上生成平面茧。蓖麻蚕成熟后采用平面吐丝场所,就会改变吐丝的习性,将会编织出一片平面丝块,即平面茧。通过合理的亮度及吐丝板坡度的调节,可以得到结构、厚度均匀的平面茧。

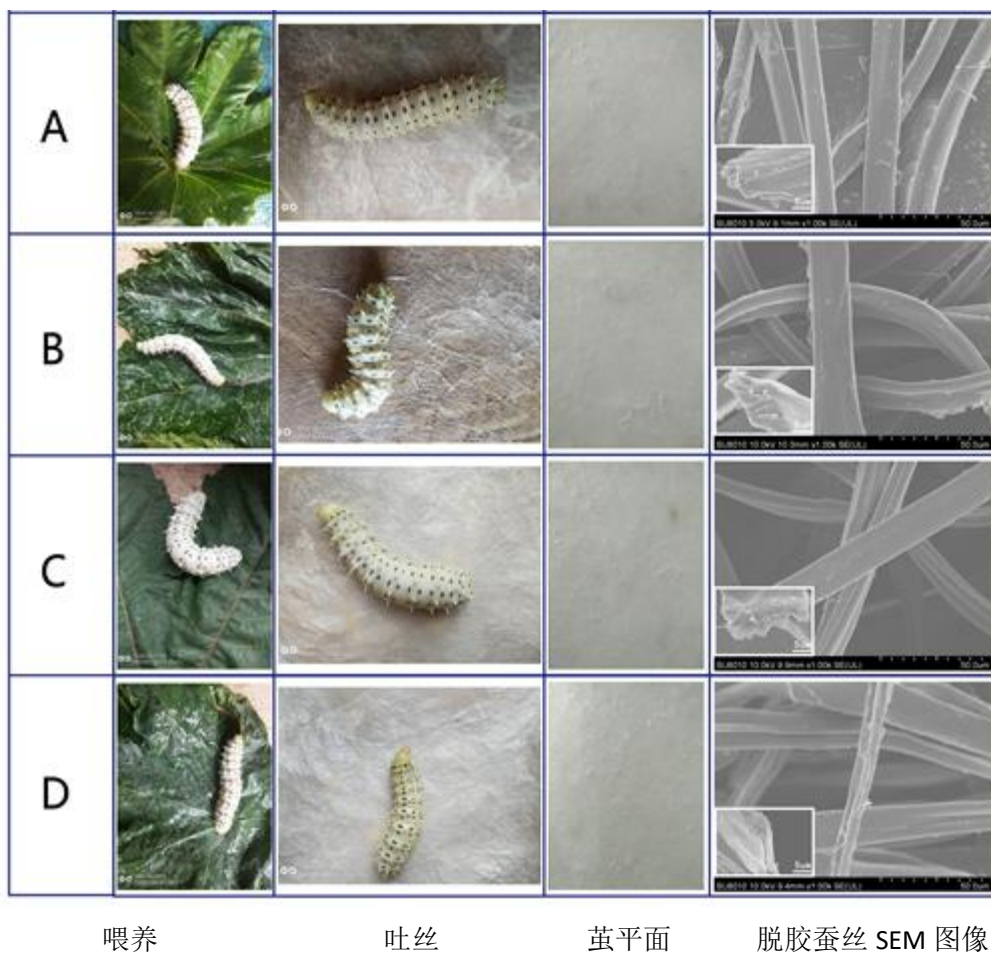
6.2 改性蓖麻蚕平面茧性能研究

6.2.1 喂食纳米材料对蚕丝表面形态结构的影响

利用数字成像设备获取蓖麻蚕喂养及结茧过程的图像。将导电胶带连接蚕丝样品表面与载样台,然后喷金,使用SEM(Su8010),加速电压为5KV或10KV时,对蚕丝表面的微观结构进行表征分析。图6-1为五龄蓖麻蚕喂食纳米材料对比结平面茧及SEM图。

饲养过程中,全部蓖麻蚕均健康生长,熟蚕的大小颜色无肉眼可辨的区别,未发现纳米材料的添加影响蚕的进食速度,或者造成蚕发育迟缓、死亡的情况发生,表明 TiO_2 和GO的添食不会影响蓖麻蚕正常生长。各组平面茧的颜色、大小和形状基本一致。

从SEM图中可以看出NFC组蚕丝细度均匀度较好,MFC组细度偏差较明显,个别纤维表面残胶率较高,纤维较细,纳米粒子进入蚕体的丝腺中后,与丝素蛋白相互作用对蚕的纺丝行为可能会产生一定影响,蚕丝的平均直径随着纳米材料的添加会略有减小,丝胶的含量会有所提高。四组脱胶丝表面都相对光滑,特别是TFC和GFC组,从蚕丝截面和表面未发现其它明显的颗粒存在,说明纳米材料进入丝腺中的纳米材料在丝腺中未发生明显的团聚。

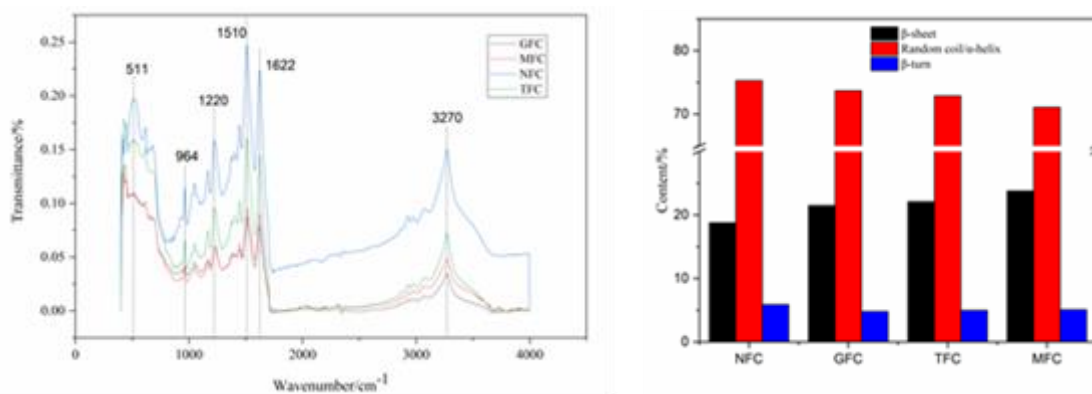


(A)正常喂食(NFC);(B)添食 TiO_2 (TFC);(C)添食 GO(GFC);(D)添食 TiO_2 和 GO(MFC)

图 6-1 各组五龄蓖麻蚕喂食纳米材料对比结平面茧及 SEM 图

6.2.2 喂食纳米材料对蚕丝二级结构的影响

对喂食纳米材料蚕丝进行红外光谱测定，观察纳米材料对蚕丝结构的影响。红外光谱 6700(美国)，分辨率 0.09/厘米，试验条件 25℃、相对湿度 50%。使用 PeakFit(V4.12)软件对红外光谱的酰胺 I 区进行分峰拟合，并计算脱胶丝的无规卷曲、 β -折叠和 β -转角的含量。



(a)脱胶丝的红外光谱图

(b)酰胺 I 区进行分峰拟合后的定量分析结果

图 6-2 五组脱胶丝的红外谱图及其对其酰胺 I 区进行分峰拟合后的定量分析结果

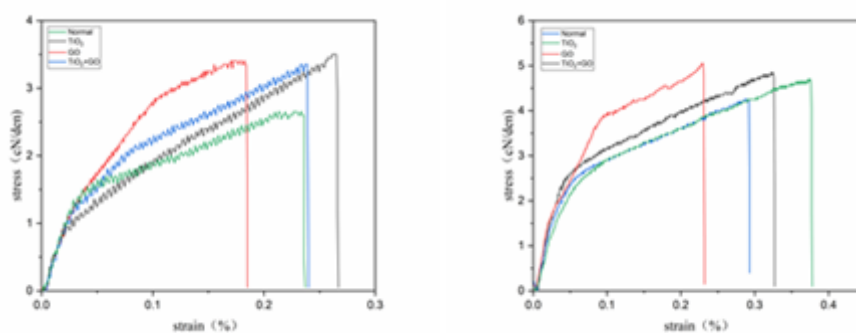
红外光谱常被用于分析蚕丝的二级结构,波数在 $1620\sim 1640\text{cm}^{-1}$ 和 $1690\sim 1700\text{cm}^{-1}$ 的峰分别为丝素蛋白 β -折叠和 β -转角构象的特征峰,波数在 $1655\sim 1660\text{cm}^{-1}$ 的峰属于丝素蛋白无规卷曲/ α -螺旋构象的特征峰^[28],由图 6-2 (a) 可看出,喂食纳米材料的平面茧丝的红外谱图与正常喂食的平面茧丝波形基本一致,并未出现其他特征峰,也没有发生特征峰的位移,说明喂食纳米材料并未改变蚕丝的基本结构。由图 6-2 (b) 可看出, GFC、TFC 和 MFC 的无规卷曲和 α -螺旋构象含量比 NFC 低, β -折叠构象含量比 NFC 高, β -转角构象含量变化不明显。由此可见,纳米粒子的进入有利于丝素蛋白由无规卷曲/ α -螺旋构象向 β -折叠构象转变。MFC 所得的脱胶丝的 β -折叠构象要高于其他两组。其原因可能在于 GO 表面大量的极性基团如羧基、羟基等与丝素蛋白形成了氢键, TiO_2 表面存在一些具有悬空键的钛原子和氧原子,其中钛原子可与丝素蛋白分子中的氧原子形成 Ti-O 螯合键,而氧原子也可与丝素蛋白中的氢原子形成氢键^[29-31]。氢键具有方向性,分子间氢键(引力作用)有利于分子做定向(有序)排列,从而促进了分子链运动及重排,促进了无规卷曲和 α -螺旋构象向 β -折叠构象的转变,形成了一个稳定结晶作用,导致蚕丝中 β -折叠的含量增加。

6.2.3 喂食纳米材料对蚕丝力学性能的影响

利用 YG004 型纤维强伸度仪,分别测定 4 种脱胶丝的力学性能。测试条件为:拉伸速度 $200\text{mm}/\text{min}$;隔距 20mm ;预加张力 $0.05\text{cN}/\text{dtex}$;每个试样测 20 次。

从图 6-3 中可以发现,纳米材料的加入对蚕丝机械性能的提升有很好的促进作用。在相同实验条件下,喂食纳米材料的蓖麻蚕平面茧丝的断裂强度均高于 NFC 蚕丝, NFC 蚕丝的断裂强度为 $4.25\pm 1.13\text{cN}/\text{den}$,断裂伸长率为

28.6±1.5%。GFC 蚕丝的断裂强度较 NFC 蚕丝有较大提高, 达到 5.05±1.22 cN/den, 但其断裂伸长率略微降低 (22.7±2.1%), TFC 蚕丝的断裂强度为 4.70±0.82 cN/den, 但其断裂伸长率却高达 (37.2±3.3%)。前面所述, GO 表面丰富的羟基、羧基等极性基团与丝素蛋白分子上的氨基、羧基等相互作用形成氢键, 加之 GO 本身的刚度, 对纤维的力学性能起到增强作用, 同时中间相含量的增加也对力学性能的增强起到一定作用。被吸收的 TiO₂ 并未转化成新的形式存在, 因为 TiO₂ 和丝素蛋白分子并不能发生化学反应形成一种新的化合物, 而且红外谱图也没有显示有新的含钛化合物生成。因此纳米 TiO₂ 在丝素中最可能的存在形式仍然是纳米粒子的状态。纳米 TiO₂ 粒子在丝素纤维中作为一个交联节点, 与晶粒连接形成网络效应, 使再生丝素纤维的韧性大大增加, 该机理也可能适用解释本研究中 GFC、TFC、MFC 蚕丝中 β-折叠构象含量和结晶度的增加, 使得纤维强度增加, 纳米材料在无定型区域的交联形成的网络是使蚕丝断裂伸长率增大的主要原因。



(a) 脱胶丝 (b) 脱胶丝经紫外线照射 3 小时后的应力-应变曲线。

图 6-3 喂食不同无机纳米粒子的平面茧丝的应力-应变曲线图

6.2.4 喂食纳米材料对蚕丝抗紫外性能的影响

取结构均匀且平均厚度相同的四组平面茧进行抗紫外线性能测试。将蚕丝置于 YG811 日晒色牢度仪中接受紫外线照射, 通过比较蚕丝力学性能的损失程度来衡量抗紫外效果。紫外线 300nm~380nm, 紫外线强度为 1245 μW/cm², 照射时间 3 h。

图 6-4 可知, 蓖麻蚕丝 GFC、TFC、MFC 的 UPF 分别为 28.2, 24.1 和 19.4, 均高于 NFC(11.3), 由图可知, NFC 的 UVA 和 UVB 透射率(T(UVA) and T(UVB)) 最高分别是 10.96% 和 5.92%, 其次是 GFC 和 MFC, 它们的 UVA 和 UVB 透射率分别是 (8.16% , 3.04%) 和 (6.3% , 2.5%), TFC 的 UVA 和 UVB 透射率最低, 分别是 5.79% 和 2.1%。喂食纳米材料对蚕丝的屏蔽紫外线性能具有明显的提

高作用。由于 TiO_2 在光线波长 410nm 处有吸收峰, 使 TiO_2 对 100nm~400nm 范围内的紫外线具有吸收作用, 对 UVA 和 UVB 有很好的屏蔽作用。氧化石墨烯(GO)还原后的产物可吸收高能量短波紫外线, 并将其转化为荧光、磷光或者热能释放出去, 同时对长波紫外线产生反射作用, 且无毒无害。

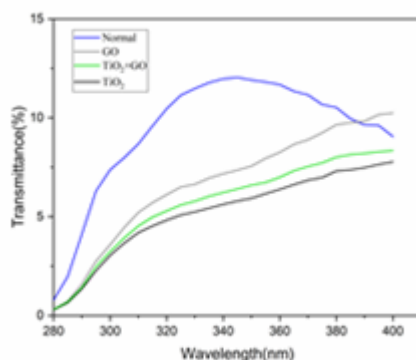


图 6-4 四组蚕丝紫外线照射损失程度

图中四组脱胶丝经过 280-400nm 的紫外光照射 3 h 后的应力-应变曲线, 经过紫外光的照射之后, 四组脱胶丝的断裂强度和断裂伸长率均有下降, 因为紫外线的照射会使蛋白质分子链发生断裂, 使蚕丝的机械性能降低, 其中 NFC 蚕丝降低的最多, 而 TFC 蚕丝降低的最少。NFC、GFC、TFC 和 MFC 脱胶丝断裂强度在紫外线照射后分别降低了 38.8%、32.7%、25.5% 和 30.9% (平均断裂强度的降低值与原始平均断裂强度之比)。因此可推断, TiO_2 的加入确实提高了蚕丝的抗紫外能力。喂食 GO 的蚕丝力学性能比喂食 TiO_2 的蚕丝下降的明显, 这可能是因为前者比后者具有更多的无定型区域, 在紫外光的照射下, 无定型区域比致密的晶区更易受到破坏。

6.3 本章小结

在蓖麻蚕五龄期通过喂食添加了功能纳米材料 (TiO_2 、GO) 的蓖麻叶, 并提供平面吐丝板作为蓖麻蚕的吐丝场所, 得到了含有功能纳米材料的平面茧, 实验证明, 所得到的平面茧结构均匀, 纳米材料的添加影响其二级结构, 含有纳米的平面茧其防紫外线性能增强, 力学性能也有改观, 且在紫外线照射下强力损失较小, 弥补了蓖麻蚕在结构及功能上的缺陷。纳米材料的添加对蓖麻蚕的生长并无不良影响, 对蚕丝的形态也无明显影响。

通过选用合理的纳米材料和混合比例, 改变蓖麻蚕的吐丝路径, 可以直接

得到性能显著提高的天然蚕丝材料。而且这种蚕茧可以不破坏茧的结构直接作为生物复合材料应用，如面膜基材，防护口罩、保温及防护材料等。这些高性能的功能蚕丝制品有望被用于制备具有高附加值的纺织品和组织工程材料。对于一些存在结构“缺陷”无法缫丝加工利用而蚕丝性能优异的野蚕茧，可以扩展其用途，增加其产业化前景。本研究为蚕茧这一自然生物聚合物材料的直接应用提供了一种合理有效的方法，在绿色高性能工程材料中具有潜在的应用前景。

第7章 结论

本课题主要以蓖麻蚕茧丝和蓖麻蚕平板丝为例，研究了蓖麻蚕在二维结构场所编织出的一片平面丝块的成型过程，蓖麻蚕茧和平板丝的外观形态比较，透气透湿性能测试，强伸性测试，两种不同脱胶方法的对比，蓖麻蚕茧丝和蓖麻蚕平板丝的细度及回潮率测试，对脱胶前后的两种蚕丝进行拉伸断裂实验，探究其力学性能的变化。对各项性能进行分析比较。

(1) 透气透湿性能测试表明，蓖麻蚕茧由于茧壳的原因透气性与蓖麻蚕平板丝差异很大，蓖麻蚕平板丝的透气性能要更好一些，透湿性能两者差异不大但平板丝的透湿率更高。

(2) 强伸性实验测试表明蓖麻蚕平板丝的强力值低于蓖麻蚕茧丝，不匀率高于蓖麻蚕茧丝。

(3) 不同脱胶方法的对比，两种脱胶方法都说明蓖麻蚕平板丝的含胶率和蓖麻蚕茧丝的含胶率差异很小，蚕丝的含胶率都在在 10%-12% 之间。

(4) 蓖麻蚕平板丝的形态结构类似于蓖麻蚕茧丝，形态结构没有很大的区别差异，横截面都是扁平状，其蚕丝强度比其他天然纤维强度要高，手感柔软、服用性能优良。

(5) 蓖麻蚕茧丝的细度和蓖麻蚕平板丝的细度有一点差异但不是很大。两种蚕丝的回潮率都很高，说明蓖麻蚕茧丝吸湿性能优良。

(6) 力学性能测试，本课题对脱胶前后的蓖麻蚕茧丝和平板丝分别进行拉伸性能测试，对比蓖麻蚕茧丝和平板丝，完全脱胶后的平板丝的强力、断裂拉伸强度要高于蓖麻蚕茧丝的强力、断裂拉伸强度。

(7) 在蓖麻蚕五龄期通过喂食添加了功能纳米材料（TiO₂、GO）的蓖麻叶，并提供平面吐丝板作为蓖麻蚕的吐丝场所，得到了含有功能纳米材料的平面茧，实验证明，所得到的平面茧结构均匀，纳米材料的添加影响其二级结构，含有纳米的平面茧其防紫外线性能增强，力学性能也有改观，且在紫外线照射下强力损失较小，弥补了蓖麻蚕在结构及功能上的缺陷。纳米材料的添加对蓖麻蚕的生长并无不良影响，对蚕丝的形态也无明显影响。

参考文献

- [1] 王军红.蚕茧生产的一大创新 平面茧的制作技术[J].农技服务,1994(9):25-26.
- [2] 张萍忠,金龙心,陈乐阳.平面茧生产技术[J].2006,2.
- [3] 廖丽珍,陶劲,唐正怡等.木薯蚕吐平板丝研究初报—平板吐丝器具筛选[J].广西蚕业,1998,35(4):19-20.
- [4] 张志鹏,杨兴.家蚕平面茧与普通茧围网结构和部分性能对比[J],2018,4.
- [5] 魏兆军,吴冬秀.利用蓖麻蚕茧丝制作高档书画丝质的技术[J].广西蚕业,1998,3: 35-3.
- [6] 翁毅,杨乐芳,蒋艳凤等.纺织品检测实务[M].中国纺织出版社,2018.11.
- [7] 周小进,董雪.不同脱胶方法对蚕丝性能的影响分析[J].针织工业,2013(4):44-48.
- [8] 周小进,董雪.不同脱胶方法对蚕丝性能影响分析[J].针织工业,2013,4.
- [9] 周彬,王慧玲.一种上浆率测试装置的研制[J].棉纺织技术,2011,39(12):51-52.
- [10] 王慧玲,周彬,黄素平等.发明专利:一种基于滚筒法测试含胶类纤维含胶率的仪器[P],国家知识产权局,201811077724.0.公布日期:2018-12-18。
- [11] 王慧玲,周彬,黄素平等.实用新型:一种基于滚筒法测试含胶类纤维含胶率的仪器 [P].国家知识产权局,201821509161.3.授权日期:2019-04-12.
- [12] 《纺织材料含水率和回潮率的测定 烘箱干燥法》[S], GB/T 9995-1997.。
- [13] 盛家壖,张世强,李华丽,吴冬秀.蓖麻蚕丝胶的溶解特性与组成结构关系的探讨[J].蚕业科学,1994,9:20-3.
- [14] 翟才新,张荣华,周彬.纺织材料基础[M].中国纺织出版社,2017,5.
- [15] Pan, H.; Zhang, Y.; Shao, H.; Hu, X.; Li, X.; Tian, F.; Wang, J. Nanoconfined crystallites toughen artificial silk. *Journal of Materials Chemistry B* **2014**,2,1408-1414,doi:10.1039/c3tb21148g.
- [16] Yang, M. Silk-based biomaterials. *Microscopy Research and Technique* **2017**, 80, 269-271, doi:10.1002/jemt.22846.
- [17] Lichtenegger, H.C.; Schoberl, T.; Ruokolainen, J.T.; Cross, J.O.; Heald, S.M.; Birkedal, H.; Waite, J.H.; Stucky, G.D. Zinc and mechanical prowess in the jaws of Nereis, a marine worm. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **2003**, 100, 9144-9149, doi:10.1073/pnas.1632658100.
- [18] Pakdel, E.; Daoud, W.A.; Afrin, T.; Sun, L.; Wang, X. Self-cleaning wool: effect of noble metals and silica on visible-light-induced functionalities of nano TiO₂ colloid. *Journal of the Textile Institute* **2015**, 106, 1348-1361, doi:10.1080/00405000.2014.995461.
- [19] Zhang, X.; Yin, J.; Peng, C.; Hu, W.; Zhu, Z.; Li, W.; Fan, C.; Huang, Q. Distribution and biocompatibility studies of graphene oxide in mice after intravenous administration. *Carbon* **2011**, 49, 986-995, doi:10.1016/j.carbon.2010.11.005.
- [20] Peng, F.; Zhang, D.; Wang, D.; Liu, L.; Zhang, Y.; Liu, X. Enhanced corrosion resistance and biocompatibility of magnesium alloy by hydroxyapatite/graphene oxide bilayer coating. *Materials Letters* **2020**, 264, doi:10.1016/j.matlet.2020.127322.
- [21] Yan, D.; Gu, M.; Lin, Y.; Chen, P.; He, X. Evolution of surface functional groups of coal char during coal combustion under O₂/CO₂ atmospheres. *Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering* **2018**, 13, doi:10.1002/apj.2170.

- [22] Goncalves, G.; Marques, P.A.A.P.; Barros-Timmons, A.; Bdkin, I.; Singh, M.K.; Emami, N.; Gracio, J. Graphene oxide modified with PMMA via ATRP as a reinforcement filler. *Journal of Materials Chemistry* 2010, 20, 9927-9934, doi:10.1039/c0jm01674h.
- [23] Huang, L.; Li, C.; Yuan, W.; Shi, G. Strong composite films with layered structures prepared by casting silk fibroin-graphene oxide hydrogels. *Nanoscale* 2013, 5, 3780-3786, doi:10.1039/c3nr00196b.

致谢

盐城工业职业技术学院以其优良的学习风气和氛围教我求学，以其博大宽广的胸襟，欢声笑语，浪漫充实的校园生活育我成人，在这三年的学习期间里，我得到了很多老师、同学和朋友的关怀和帮忙。在论文即将完成之际，我要向在所有期间给予我支持、帮忙和鼓励的人表示我最诚挚的谢意。

本次毕业论文是在刘玲老师和周红涛老师的精心指导和大力支持下完成的，从论文的选题、构思、撰写到最终的定稿，两位老师都给了我指导和帮忙，他们在我做毕业设计过程中对我悉心的指导，遇到不懂的地方老师会帮助我解决问题，这才能使我的毕业论文能够顺利的完成。老师们对工作的认真负责，兢兢业业和一丝不苟的治学态度，使我受益匪浅。对学术的钻研精神和严谨的学风，这些都是值得我去终生学习的。通过和老师的学习，我对这方面的知识有了进一步的了解，老师以严谨的治学态度和敬业精神深深的感染了我，也对我的工作学习产生了深远的影响，在此我向老师表示衷心的感谢！

还要感谢中国农业科学院蚕业研究所（镇江）提供的蓖麻蚕茧和蚕种和相关指导。

最后，感谢学校的领导和老师给与我的关怀，感谢一直支持我的家人，特别感谢母校盐城工业职业技术学院和纺织服装学院各位任课老师三年来给予我的帮助，给我提供这样一个学习的环境，是老师们孜孜不倦的教学帮助我完成这三年来的学业，谢谢！



盐城工业职业技术学院
Yancheng Polytechnic College

学生毕业设计（论文）

院（系）： 纺织服装学院
专 业： 纺织品检验与贸易
班 级： 纺贸 1711
学 生 姓 名： 杨婉婉
学 生 学 号： 17102021
设计(论文)题目： 桑蚕平板丝形态结构与性能研究
指 导 教 师： 周彬 位丽
起 迄 日 期： 2019.8.5-2019.12.25

摘要

传统的养蚕方式是等蚕成熟了以后把蚕放在簇聚上或使用单片、联片纸板方格簇，让蚕在上面做成一个椭圆形的茧子。把圆茧加工成蚕丝必须经过取蛹、缫丝等多道工序，工艺复杂、投资大、成本高，而且产量低。为了节约工序，人们根据蚕在吐丝时喜欢有向上爬的天性，发明了变吐丝做圆茧为做平板丝的蚕茧平面吐丝床。平板丝不仅改变了中国千百年来种桑养蚕的传统工艺流程，简化了蚕茧的加工工艺，降低了成本，而且生产出来的茧丝美观，品质提高，还多出了一个副产品活蚕蛹，可再次开发利用。

对比传统蚕丝与平板丝，从桑蚕茧、平板丝的外观来看，蚕茧呈长椭圆形，茧层较紧，茧层缢缩，质轻而韧，不易撕破。平板丝表面与背面基本洁净光滑，不需要后处理，可以直接制作高档蚕丝被等丝制品。

本文研究了桑蚕平板丝制作时规格、温度、选茧原料及吐丝时的技术管理。桑蚕平板丝桑蚕茧的透气性能、强伸性对比。桑蚕平板丝透气性能大于桑蚕茧，平板丝透气舒适。

桑蚕丝与桑蚕平板丝线密度、脱胶率的数据对比并没有太大差别。脱胶对蚕丝的断裂强度、染色造成了影响，脱胶后的桑蚕丝的染色率高于没有脱胶后的桑蚕丝。桑蚕平板丝的断裂强力大于桑蚕丝，说明平板丝柔韧性好，具有一定的弹力。桑蚕丝平板丝各种性能优越，用于生产面膜。

关键词：桑蚕，平板丝，制作，断裂强力，染色

ABSTRACT

The traditional way of sericulture is to put the silkworm on the cluster or use a single-chip or linked cardboard grid cluster when the silkworm is mature, so that the silkworm can be made into an oval cocoon on it. The processing of round cocoon into silk must go through many processes such as taking pupa and reeling. The process is complex, the investment is large, the cost is high, and the output is low. In order to save working procedure, according to the nature that silkworms like to climb up when spinning, people invented the flat spinning bed of cocoon which changes spinning to make round cocoon as flat silk. Flat silk not only changed the traditional process of sericulture in China for thousands of years, simplified the processing technology of cocoon, reduced the cost, but also produced beautiful cocoon silk, improved the quality, and produced a by-product, the live silkworm chrysalis, which can be developed and utilized again.

Compared with traditional silk and flat silk, from the appearance of silkworm cocoon and flat silk, the cocoon is long ellipse, the cocoon layer is tight, the cocoon layer is constricted, light and tough, not easy to tear. The surface and back of flat silk are basically clean and smooth, so it does not need post-treatment. It can be directly used to make high-grade silk quilt and other silk products.

In this paper, the specifications, temperature, cocoon material selection and technical management in the production of silkworm flat silk are studied. Comparison of permeability and strength and elongation of flat silkworm cocoon. The air permeability of flat silk is better than that of cocoon.

There is not much difference in the data of linear density and degumming rate between silk and flat silk. Degumming has an effect on the breaking strength and dyeing of silk. The dyeing rate of degummed silk is higher than that of non degummed silk. The breaking strength of flat silk is greater than that of mulberry silk, indicating that flat silk has good flexibility and certain elasticity.

Key Words: silkworm, flat silk, make , breaking strength, dyeing

目录

第 1 章 引言	1
1.1 概述.....	1
1.1.1 桑蚕丝.....	1
1.1.2 桑蚕综合利用价值高.....	1
1.2 桑蚕平板丝.....	2
1.3 本课题研究的目的和内容.....	3
1.3.1 研究的目的.....	3
1.3.2 本课题研究的内容.....	3
第 2 章 桑蚕平板丝的制作	4
2.1 平板丝的优点.....	4
2.2 吐丝室的选择.....	4
2.3 吐丝中的技术管理.....	5
2.4 桑蚕平板丝成型.....	5
第 3 章 桑蚕平板丝与桑蚕茧微细结构对比	6
3.1 实验材料与仪器.....	6
3.2 实验结果.....	6
第 4 章 桑蚕蚕茧壳与桑蚕平板丝性能对比	9
4.1 桑蚕蚕茧与桑蚕平板丝强伸性对比.....	9
4.1.1 实验仪器.....	9
4.1.2 实验材料.....	9
4.1.3 桑蚕试样制备.....	9
4.2 蚕丝线密度的检测.....	11
4.3 蚕丝纤维回潮率检测.....	11
4.3.1 实验仪器材料.....	11
4.3.2 桑蚕茧与桑蚕平板丝回潮率.....	12
4.4 断裂强力.....	12
4.5 桑蚕蚕茧与桑蚕平板丝透气性能对比.....	13
4.5.1 实验器材与仪器.....	13
4.5.2 实验材料.....	13
4.6 桑蚕蚕茧与桑蚕平板丝脱胶对比.....	13

4.6.1 实验器材与仪器.....	14
4.6.2 碳酸钠脱胶.....	14
4.6.3 脱胶率测定.....	14
4.6.4 蚕丝含胶率快速测试仪器的设计思路及运行机理.....	14
4.6.5 蚕丝含胶率快速测试仪器的测试方法.....	16
4.6.6 计算脱胶率.....	17
4.7 染色性能分析.....	17
第 5 章 桑蚕平板丝在面膜中应用	20
5.1 实验.....	20
5.1.1 材料.....	20
5.1.2 智慧蚕丝面膜基布的制备.....	20
5.1.3 性能测试.....	21
5.1.4 力学性能测试.....	21
5.1.5 透气性能测试.....	21
5.1.6 带液率测试.....	22
5.1.7 抗菌性能测试.....	22
5.2 结果与讨论.....	23
5.2.1 两种面膜基布的结构对比.....	23
5.2.2 厚度.....	23
5.2.3 孔隙率.....	24
5.2.4 力学性能.....	24
5.2.5 透气性能.....	24
5.2.6 带液率.....	25
5.2.7 抗菌性能.....	26
5.3 结论.....	27
总结.....	28
参考文献	29
致谢.....	30

第 1 章 引言

1.1 概述

随着发现了南丹县白裤瑶群众让蚕丝吐平板丝的技术手段，人们越来越发现让成熟的桑蚕只是给一个平面的茧状结构，不是给他一个缠绕和结茧的支点，迫使它换一个新的结茧习惯，桑蚕可以直接吐平板上，形成平板丝。这极大的改变了通常蚕茧需要一个具备立体构造的场所吐丝营茧熟茧，才能吐丝成茧的定义。应该了解熟茧的吐丝习性与特性，许多桑蚕在一块平板上吐丝成平板丝，可以把它取下来，不用缫丝，就是天然的蚕丝棉。由于它膨松柔软、穿着舒服，整体性能好，比较容易剪裁成各种形状，是充作高质量的原材料，可以称为档次较好的服装和蚕丝棉被。

1.1.1 桑蚕丝

丝绸起源于中国，距今已有 6000 多年的历史。蚕丝是一种高质量的织原料，具有强伸性好、手感好、弹性好、光泽好、吸湿放湿性好等特点，被誉为“纤维皇后”。人们的社会生活一直都离不开它，以前也是，现在也是。蚕丝纤维的颜色一般是白色或乳白色，里面的物质大致包含两种，分别是丝素、丝胶，两根丝素互相对应平行。

蚕丝纤维的截面为椭圆形或稍三角形，单个丝素的截面为三角形。丝纤维蛋白质是由长链和短链组成的亚单位结构。长链主要由甘氨酸、丙氨酸和丝氨酸组成。短链含有许多氨基酸，残基松散。桑蚕平板丝制作，桑蚕成熟后改变其桑蚕吐丝习性，使三维立体结构变成二维平面结构，在不具有支点的特殊平面设备上均匀吐丝，形成平板丝。桑蚕蚕茧与桑蚕平板丝外观结构略有不同，茧层紧致，不易撕扯，平板丝表面光滑洁净，膨松柔软，不需后处理，可以随意裁剪制作高档丝绵被。

桑蚕蚕茧、桑蚕平板丝的强伸性、透气性。桑蚕平板丝伸力变化不大，平均强力大于桑蚕茧，韧性好。桑蚕平板丝透气率大于桑蚕茧，更加透气舒适。

1.1.2 桑蚕综合利用价值高

中国是世界蚕桑大国，有着五千年的悠久历史。我们国家以前的养蚕方式是收茧、纺丝。

这种单一的经营理念和模式容易受到市场变化波动的影响，市场条件的波动会使蚕农的种植意向明显倾斜。严重的是，市场不景气的年份，盲目跟风捣毁自己的桑园，多年的生意毁于一旦。他们大多不会利用良田种桑树养蚕，因此蚕桑的效益会大打折扣。因此，迫切需要利用科技创新，加强蚕桑产品的合理开发利用，稳定蚕桑及其配套产业的发展，真正实现农民养蚕致富。

桑树产品系列化开发包含：(1)桑叶:传统中医药学发现，桑叶性属寒、味微甘，有散风热，清肝明目的功效。现代医学也发现桑叶具有极高的营养价值。还富含大量氨基酸，维生素，叶酸及人体必需的微量元素。其中的纤维素还远远超过了大多数的蔬菜、水果。(2)桑枝入药以春季采集的嫩枝为主。此外，大面积桑园中的桑枝还能用来加工制造成人造纤维板材等。(3)桑树皮。中医药学认为，性寒，味苦。现代医学发现其能行水消肿，降血压。以桑白皮开发的护发素还可防止脱发。

蚕产品系列开发：(1)蚕丝:收集蚕丝是人们养蚕主要的意图，自古以来开发利用的就是生产丝织品。丝绸商品一直是我们对外贸易的主要商品。(2)蚕：据中国农业科技院蚕业研究所桂仲争报道：韩国科学家利用第五龄第三天家蚕幼虫经冷冻干燥制成蚕粉，临床表现有治疗糖尿病功效，且安全无毒副作用，优于胰岛素，在韩国一下子供不应求。(3)蚕沙：家蚕幼虫的干燥粪便，有祛风除湿、和胃化浊、明目等药效。(4)蚕蛹：蚕蛹是传统的风味小吃，美味可口，营养丰富，是餐桌上的美味佳肴。(5)蚕蛾：利用雄蚕蛾可以开发出系列保健品和保健食品。

随着发现了南丹县白裤瑶群众让蚕丝吐平板丝的技术手段，人们越来越发现让成熟的桑蚕只是给一个平面的茧状结构，不是给他一个缠绕和结茧的支点，迫使它换一个新的结茧习惯，桑蚕可以直接吐平板上，形成平板丝。这极大的改变了通常蚕茧需要被给予一个具备立体构造的场所吐丝营茧熟茧，才能吐丝成茧的定义。应该了解熟茧的吐丝习性与特性，许多桑蚕在一块平板上吐丝成平板丝，可以把它取下来，不用缫丝，就是天然的蚕丝棉。由于它膨松柔软、穿着舒服，整体性能好，比较容易剪裁成各种形状，是充作高质量的原材料，可以称为档次较好的服装和蚕丝棉被。

1.2 桑蚕平板丝

纺织产品的竞争力在很大程度上取决于纤维原料的质量以及品种，近年来，多种新型合成纤维、天然纤维正在以前所未有的速度发展。新品种逐步扩大到甲壳素、大豆蛋白、牛奶蛋白、聚乳酸等多种纤维领域，还有多种纤维交织混纺后的复合纱线，抗菌、屏蔽紫外线、阻燃等功能性纤维的相继开发，给纺织品的创

新提供了更多的空间。

因为改变了桑蚕“作茧自缚”的吐丝习性,让其在平面上均匀吐丝,形成一片片平板丝。既不用缫丝,也不需拉扯,可以随意剪裁形状。省去了大量人力物力,提高了生产效率。善于利用熟蚕的这一特点,可以直接在平面上结丝,直接取下来就制作成天然蚕丝棉。制作高档服装或床上用品的信赖之选。

平板吐丝成膜后,因其蓬松柔软而穿着舒适,整体性能好可任意裁剪而制作方便,经过消毒、保湿处理可作为生产面膜的材料。蚕丝内部约 38%为空心,其锁水能力超自身重量的 10 倍以上,且透气性极强不反吸;自然抗皱,蚕丝蛋白肽中释放出的各种氨基酸分子更容易被毛发及皮肤吸收,促进胶原蛋白的分泌。

桑蚕平板丝是一种新开发的蚕丝纤维,蚕丝整体性能好,比较新颖,在这种快速发展的时代,会有更好的前途、应用和开发

1.3 本课题研究的目的是和内容

1.3.1 研究的目的

本课题通过研究如何改变桑蚕吐丝制作出平板丝,对桑蚕平板丝有更加充分的利用和认识。而随着各种天然纤维的不断开发利用和各种新型合成纤维的研究成功,各种高性能的合成纤维和特种纤维的出现,桑蚕平板丝作为一种优良独特的丝资源,它的研究开发是纺织行业宝贵的资源。

1.3.2 本课题研究的内容

- (1) 桑蚕平板丝的制作。
- (2) 桑蚕蚕丝与桑蚕平板丝细微结构差异。
- (3) 桑蚕与桑蚕平板丝物理机械性能对比。

第 2 章 桑蚕平板丝的制作

2.1 平板丝的优点

通过对比研究，制作桑蚕平板丝具有以下优点：

(1) 桑蚕丝平板丝生产成本低，蚕丝质量高，平面状方便裁剪和后续的加工、利用。

(2) 平板丝表面洁净，蚕丝平整均匀，有利于运输和存放。



图 2.1 制作桑蚕平板丝

2.2 吐丝室的选择

(1) 温度：在选择蚕室的时候，应该选择室内，避免野外。25~27℃是桑蚕吐丝的较好温度，吐出来的丝的质量较好，蚕死亡率也低。25℃往下时，蚕不容易吐丝且很少移动。蚕室温度高于 27℃时，温度较高蚕食量少，桑蚕比较活泼不爱吐丝，活动量大，容易死。

(2) 气流：保持空气流通，及时排换空气，避免空气污浊，对蚕的健康有影响，但气流也不能过大，最好是 0.5~1m/s。

(3) 光线：不能太强，因为桑蚕具有背光性，容易受到刺激，但光线也不能太过黑暗，要选择适宜的光线，光线的强弱最好是 10~20Lx，光的颜色暖橙色比较好。



图 2.2 桑蚕温度吐丝室



图 2.3 桑蚕吐丝设备

2.3 吐丝中的技术管理

桑蚕吐丝技术管理是保证平茧质量和产量的关键。因此，吐丝过程中的技术管理应紧紧围绕促进纺吐丝和降低桑蚕温度室含水量。

家蚕成熟密度的管理。如果成熟蚕密度过大，单位面积排尿过多，就会耽误正常的吐丝时间，增加成熟蚕的体力消耗，减少平板丝产量，降低品质。考虑到生丝生产的实际需要，建议每平方米在丝板上放入 2.5-3.5Kg 成熟蚕。同时，加强巡查，防止成熟蚕堆积成堆，形成局部过密和密度不均匀。

水资源管理，尽管采取了捕捉部分成熟蚕的技术措施，但仍有大量成熟蚕在纺板机上排出大量的尿液和粪便，使纺板机潮湿，不适合成熟蚕纺纱。蚕尿还会污染已经切片的蚕丝，使蚕丝变黄，降低蚕丝质量。因此，水资源管理尤为重要。

加强自然通风或机械通风，降低桑蚕丝温度室空气湿度，加速吐丝板平面水分蒸发，使平面湿度尽快满足吐丝要求。

2.4 桑蚕平板丝成型

提前准备好吐丝的器具，将成熟的蚕儿均匀的放到垫有软纸的平面上经过 12h,待蚕儿排净粪便和尿后，将蚕儿均匀的放到提前准备好的吐丝床上，相对湿度设置在 25℃，湿度 65%,设置在黑暗环境中，防止熟蚕吐丝过程中爬动。上簇后，等待 3~4 天，待熟蚕吐丝基本完成后，蚕儿化成蚕蛹时，将吐丝器具上的蚕蛹取出后，得到平板丝。



图 2.4 蚕吐平板丝



图 2.5 平板丝

第3章 桑蚕平板丝与桑蚕茧微细结构对比

由于平板丝在制作时，蚕吐丝的空间不受到限制，但蚕吐丝摆动的幅度和蚕茧丝之间也有很大的区别，故桑蚕平板丝和桑蚕茧丝在细度、细度均匀度、伸长率、取向度等方面均有一定的差异。

3.1 实验材料与仪器

家蚕平板丝、蚕茧丝、脱胶后的家蚕平板丝、蚕茧丝。

3.2 实验结果

桑蚕丝蚕和桑蚕平板丝的形态结构见下图。



图 3.1 桑蚕平面图



图 3.2 桑蚕剖面图



图 3.3 桑蚕平板丝正面平面图



图 3.4 桑蚕平板丝反面平面图

蚕茧呈椭圆形，茧层紧密，茧层明显收缩。圆茧形表示是蚕吐丝的时候良好习惯，受优良遗传的影响较大。平板丝是通过改变桑蚕的吐丝习性而制成的。平板丝的颜色很白，正面比较多毛，反面很平整。与平板丝相比，蚕茧不太干净，只能经过处理后加工。但是，平板丝不需要留在圆茧中，因为它改变了原来的结茧和自缚方式。丝绸表面光洁，可直接加工成高档丝绸被子、丝绸服装等。

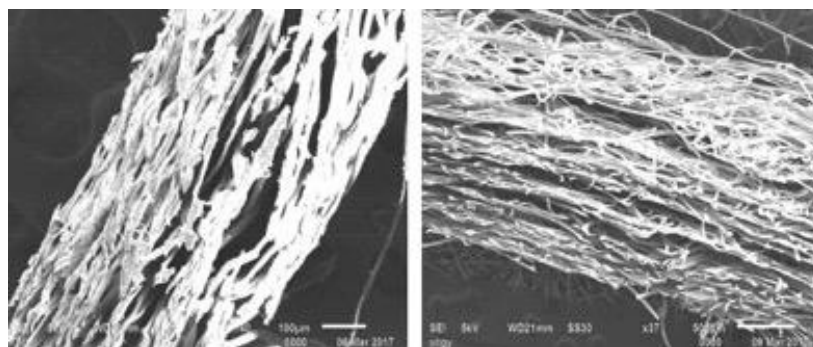


图 3.5 平板丝侧面电镜图

图 3.5，蚕茧的单丝很斑驳。单丝和单丝之间有很大的差距。单丝表面非常粗糙，左密右疏，细度差别明显。但是，平板丝非常光亮光滑，丝绸质量也比较好。单丝末端有豆芽状结点，结构纵横交错，不同于蚕茧丝的单轴聚集。单丝直径约为 20-50 微米。

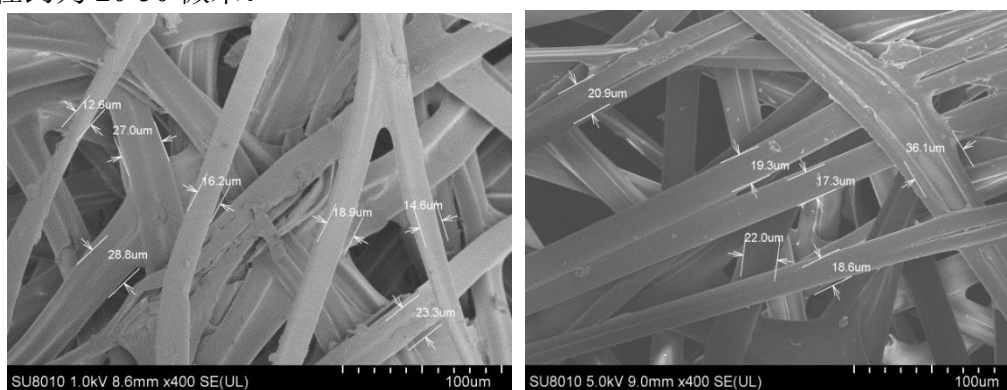


图 3.6 普通茧生丝（左）和平面茧生丝(右)结构对比

平板丝和普通茧丝的扫描电镜照片表明，它们的微观结构没有明显的差别。它们是两个平行的丝素蛋白，外面包裹着丝胶。通过对大量蚕丝直径的统计分析，发现普通蚕丝直径为 20.2µm，平茧直径为 23.4µm，平板丝直径稍大。采用独立样本 t 检验分析数据的显著性差异，如图 3.6 所示。

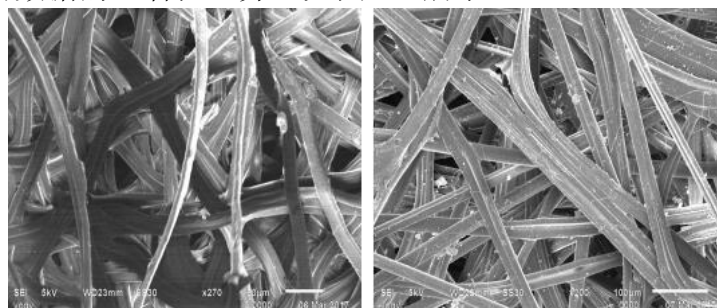


图 3.7 蚕丝（左）与平板丝（右）正面对比

蚕丝正面有三根单纤维，特别的突兀，往后看密度也不是很大，单丝上有白色的丝胶附着在上面纤维，单丝之间排列的毫无规律，反观平板丝的排列就会比

较的密集,单丝也显得透亮。但是单丝上出现了很多的裂纹这是蚕丝没有发现的。

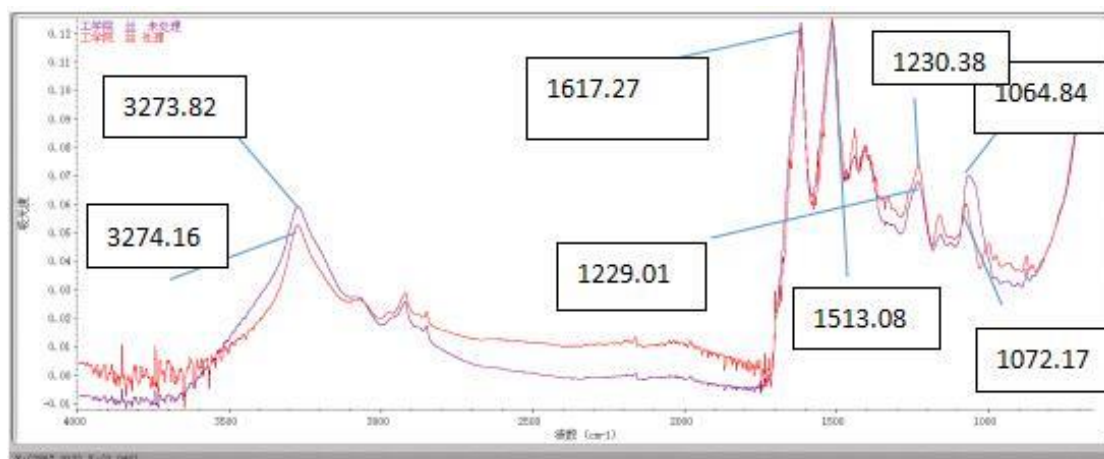


图 3.8 蚕茧丝红外光谱

注：红色线为脱胶蚕茧丝的红外光谱曲线，蓝色线为未脱胶后蚕茧丝的红外光谱曲线。

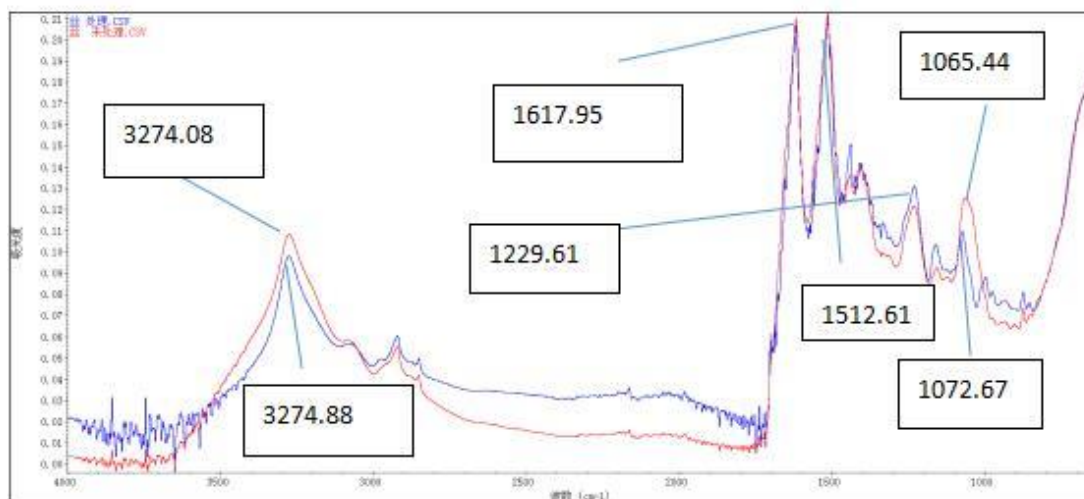


图 3.9 平板丝红外光谱

注：红色线为脱胶蚕平板丝的红外光谱曲线，蓝色线为未脱胶平板丝的红外光谱曲线。

由图 3.8 可知, can 红外光谱带在 1617.27cm^{-1} (酰胺I)、 1513.08cm^{-1} (酰胺II)、 1400cm^{-1} (酰胺III)、 1230.38cm^{-1} (酰胺IV)、 1064.84cm^{-1} (酰胺V) 为 α -螺旋结构; 结合图 3.9 平板丝的红外光谱图, 可以看出, 桑蚕蚕丝和桑蚕平板丝具有相像的分子结构和化学构象。

第 4 章 桑蚕蚕茧壳与桑蚕平板丝性能对比

4.1 桑蚕蚕茧与桑蚕平板丝强伸性对比

4.1.1 实验仪器

YG065 型电子单丝强力测验仪。

4.1.2 实验材料

相同厚度的桑蚕丝、桑蚕平板丝。

4.1.3 桑蚕试样制备

螺旋取样法： $\alpha=20^\circ$ 有效宽度 5mm；

拉伸距离 50mm，速度：2mm/min；

带状蚕茧的拉伸曲线呈现出三个区域即：虎克区，屈服区和断裂区。



图 4.1 螺旋取样图

将桑蚕丝、桑蚕平板丝,使用 YG065 型电子单丝强力测验仪,进行单丝拉伸实验。每个茧层都要随机抽取五根纤维,这样抽丝比较客观,差别不会太大。



图 4.2 平板丝(左)与桑蚕(右)蚕强伸图

(a) 桑蚕平板丝平均断裂强力为 84.6N, CV 值为 21.81%。平均伸长率为

21.04%，CV 值为 26.03%；桑蚕茧平均断裂强力为 103.3N，CV 值为 28.21%。平均伸长率为 15.8%，CV 值为 20.18%。

(b) 桑蚕平板丝的多层结构产生明显的断裂不同步性，强力值低于桑蚕丝，不均匀率高于桑蚕丝。

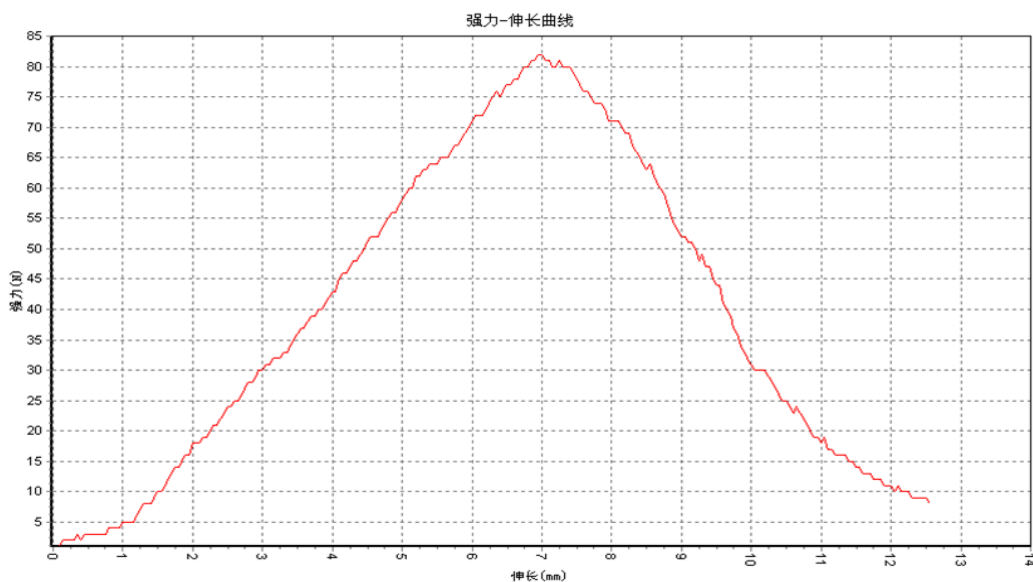


图 4.3 桑蚕平板丝伸长曲线图

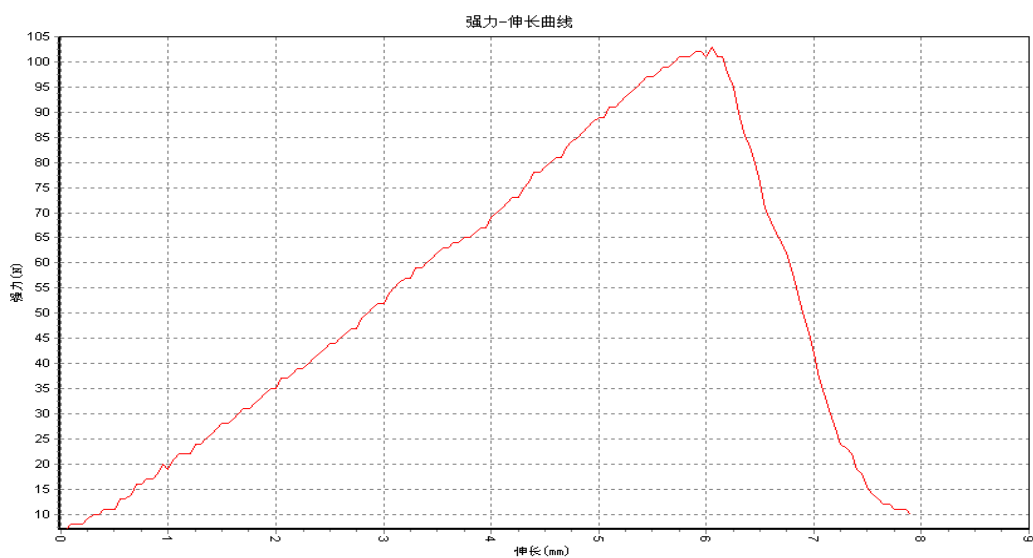


图 4.4 桑蚕蚕茧伸长曲线图

桑蚕茧与桑蚕平板丝拉伸数据对比，桑蚕平板丝不均匀率高于桑蚕丝，平板丝拉伸数据大于桑蚕丝，桑蚕平板丝脱胶后强力大于脱胶后的桑蚕丝，平板丝的拉伸性能好，具有一定的柔韧性，弹性，是一款不错的新型纤维。普通蚕茧因为卷绕失去一定拉伸性。

4.2 蚕丝线密度的检测

纱线线密度是纱线的粗细的基本指标，用单位长度纱线的质量来表示。目前线密度的法定计量单位是特克斯（tex），即在公定回潮率下 1000 米长度纱线的质量克数。

中断切断器，FA2004 电子天平、100 根 20mm 的平板丝蚕丝和桑蚕蚕丝。
由公式推

$$Nm \times Nden = 9000$$

$$\frac{Nden}{Tex} = 9$$

测得：

桑蚕平板丝线密度：3.3 丹尼尔。

桑蚕蚕丝线密度：3.2 丹尼尔。

4.3 蚕丝纤维回潮率检测

回潮率表示纺织材料吸湿程度的指标。以材料中所含水分重量占干燥材料重量的百分数表示。回潮率纺织材料所含水分重量（湿重与干重的差值）对于重的百分率。

4.3.1 实验仪器材料

Y802A 型八篮恒温烘箱、FA2004 电子天平、桑蚕蚕丝 5g、桑蚕平板丝 5g、筐重 78.10g、 取样 5g 、 总重 83.1g。

由公式推：

$$W = \frac{(G1 - G0)}{G0} \times 100\%$$

表 4.1 桑蚕茧三次脱胶后重量（g）

桑蚕茧	30min	50min	70min
	82.5254	82.4734	82.4625

$$\frac{(G2 - G3)}{G2} \times 100\% = \frac{(82.4734 - 82.4625)}{82.4625} \times 100\% = 0.013\% < 0.05\%$$

表 4.2 桑蚕丝平板丝三次脱胶后的重量（g）

桑蚕平板丝	30min	50min	70min
	82.5546	82.5758	82.5633

$$\frac{(G2 - G3)}{G3} \times 100\% = \frac{(82.5758 - 82.5633)}{82.5633} \times 100\% = 0.015\% < 0.05\%$$

由表 4.1 和表 4.2 可以看出, 结果均符合国家标准。

4.3.2 桑蚕茧与桑蚕平板丝回潮率

表 4.3 桑蚕茧与桑蚕平板丝回潮率 (%)

蚕丝种类	30min	50min	70min	回潮率
桑蚕茧	82.5254	82.4734	82.4625	12.4%
桑蚕平板丝	82.5546	82.5758	82.5758	11.7%

桑蚕茧的回潮率比桑蚕平板丝的回潮率大一些。

4.4 断裂强力

将脱胶后的蚕丝、平板丝,在 YG065 型电子单丝强力测验仪, 上对脱胶丝和扁丝进行了测试。从多个角度(正、负、边、中心等)抽取样品, 在每个试块上选择 5 根单丝, 扩大实验的代表性。选定的单丝长度应适中, 以备日后使用。

根据操作手册调试单丝强度测试仪, 首先按“开始”键开机, 设置一系列常规数据, 基本上是出厂前设置的原始通用数据)在下端放置 10g 砝码, 调试使机器的抗拉强度显示 10N, 证明了该机显示的拉伸强度是准确的。下夹头, 将桌子上的黑板反射过来, 将单丝的一端送入上夹头, 转动弹性手柄, 然后将其吊起, 垂直吊起, 将单丝的下端夹在机器下端的夹头上, 确保稍微拧紧, 使测试足够准确, 发出启动命令, 降低夹头, 直到单丝拔出。测量样品并记录数据。

根据上面的正交实验得出的最佳脱胶方案脱胶, 得到传统蚕丝与平板丝各一个试样, 对其进行单丝拉伸实验得到以下数据。

表 4.4 平板丝完全脱胶单丝拉伸性能表

测试次数	断裂强力	断裂伸长	断裂伸长率%	断裂功	断裂时间
001	22.00	2.40	1.20	32.30	1.44
002	20.00	1.80	0.90	14.85	1.08
003	13.00	1.20	0.60	11.05	0.72
004	24.00	5.55	2.78	51.95	3.33
005	19.00	2.50	1.25	23.70	1.50
006	13.00	2.15	1.07	10.60	1.29
007	21.00	3.45	1.73	34.90	2.07
008	17.00	3.60	1.80	30.65	2.16
009	26.00	2.35	1.18	48.10	1.41
010	21.00	1.70	0.85	25.40	1.02
平均值(AVG)	19.60	2.67	1.34	28.35	1.60
最大值(MAX)	26.00	5.55	2.78	51.95	3.33

桑蚕丝与桑蚕平板丝相比，桑蚕平板丝的拉长长度平均数据差不多，且平均数据大于桑蚕丝，说明桑蚕平板比桑蚕丝拉力强，桑蚕丝具有一定的弹力，柔韧性较好。可能是只是在平面上吐丝，不需要卷绕，具有一定的空间。对桑蚕丝与桑蚕平板丝来说，脱胶后的桑蚕蚕丝拉伸数据普遍大于没有脱胶后的桑蚕丝拉伸数据。

4.5 桑蚕蚕茧与桑蚕平板丝透气性能对比

4.5.1 实验器材与仪器

YG461E 透气性能测试仪

4.5.2 实验材料

桑蚕茧、桑蚕平板丝

试样仪器：YG461E,测试面积设置面积为 5cm²，压差为 100 MPa。

表 4.5 透气率

名称	压差 (Mpa)	透气率 (mm/s)
桑蚕茧	100	325.6
桑蚕平板丝	100	971



图 4.5 透气性能测试

通过实验数据得出：桑蚕平板丝的透气率高于桑蚕茧的透气率。两者同属于一种蚕丝但实验结果差异较大，主要因为两种蚕丝的外观形态结构不一样。平面状的平板丝像布料一样，透气性能优良，桑蚕茧外观呈茧壳状，茧层紧凑，透气性能低于平板丝的透气率。

4.6 桑蚕蚕茧与桑蚕平板丝脱胶对比

4.6.1 实验器材与仪器

桑蚕蚕丝、桑蚕平板丝、无水碳酸钠、蚕丝含胶率快速测试设备。

4.6.2 碳酸钠脱胶

脱胶是蚕丝加工工艺中重要的环节之一，脱胶的好坏，对丝的质量和原料的制成率都有极大的影响，适当的含胶量(约 20%)左右，可以增强蚕丝的抱合，在一定程度上对丝素起保护作用，有利于后道工序的加工整理，丝片不易紊乱，丝条抗压耐磨；如含胶量过少，则影响抱合，织物容易起毛；反之，如含胶量过高，则丝条糙硬，影响蚕丝光泽手感，在机织过程中易磨损钢筘；同时，织造时增加原料消耗，增大成本。因此蚕丝的含胶量为贸易所重视，列为选择检验项目^[18]。

裁剪细节：实验自身是因为在水浴锅中进行，没办法严格的控制浴比，因为要抵抗水分蒸发，同时要保证液面是要漫过试样的，实验中途由于时间较长，势必要隔一段时间添加适当的水，达到一个全时间段良好的脱胶效果^[19]。

4.6.3 脱胶率测定

桑蚕取样脱胶后，称质量时用烘箱烘干，将脱胶前后的丝样放入烘箱中。

$$\text{脱胶率} = \frac{W1 - W2}{W1} \times 100\%$$

表 4.6 桑蚕平板丝脱胶率

蚕丝种类	脱胶前重量 (g)	脱胶后重量 (g)	脱胶率 (%)
桑蚕平板丝	0.3	0.1914	36.20%
	0.4	0.269	32.75%
	1	0.6514	34.59%

表 4. 桑蚕蚕丝脱胶率

蚕丝种类	脱胶前重量 (g)	脱胶后重量 (g)	脱胶率 (%)
桑蚕蚕丝	0.3142	0.2102	33.00%
	0.4	0.278	30.50%
	1	0.70717	29.23%

4.6.4 蚕丝含胶率快速测试仪器的设计思路及运行机理

本文针对现有的蚕丝含胶率测试方法，设计了蚕丝含胶率快速测试仪器，利用滚筒与蚕丝接触的摩擦作用和超声波空化作用对蚕丝进行脱胶，最终使丝胶丝素彻底分离，以测试蚕丝含胶率。蚕丝含胶率快速测试仪器的设计思路及运行机理图 4.6 所示,蚕丝含胶率测试仪器包括机壳 1，机壳 1 上分别设有机门 2、机脚 3、和控制面板 4、机壳 1 内部固装一水箱 5，水箱 5 内设有一滚筒 6，滚筒 6 通

过转轴 7 与变频电机 8 连接；水箱 5 上面连接内进水管 9，内进水管 9 通过电磁阀 10 与外进水管 11 连接；水箱 5 下面连接排水阀 12，排水阀 12 通过过滤器 13 与出水管 14 连通，过滤器 13 可以阻止脱胶后的短纤维从滚筒 6 脱出并由出水管 14 排出，并可以回收纤维；水箱 5 底部固装超声波振荡器 15 和电热器 16，分别对水箱 5 内的溶液进行超声振荡和加热，水箱 5 上部固装红外干燥器 17，用于干燥经过脱胶、脱水和甩干后的纤维。转轴，8 为变频电机，9 为内进水管，10 为电磁阀，11 为外进水管，12 为排水阀，13 为过滤器，14 为出水管，15 为超声波振荡器，16 为电热器，17 为红外干燥器。

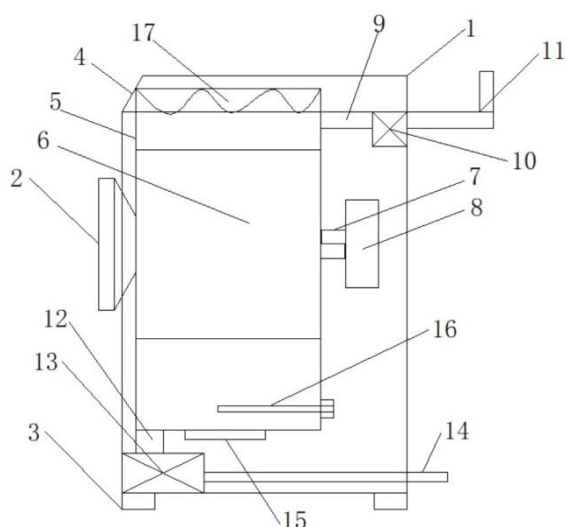


图 4.6 蚕丝含胶率测试仪器结构图



图 4.7 滚筒结构示意图

滚筒是蚕丝脱胶的容器，为不锈钢材质，上面均匀分布着小孔，其规格为：其目数（1 英寸（25.4mm）宽度的筛网内的筛孔数） ≥ 300 （目/英寸），滚筒内壁有一定的凹凸，滚筒高速旋转过程中，纤维与滚筒内壁产生相对运动，反复摩擦，加速丝胶与丝素的分离。

蚕丝含胶率快速测试仪器工作原理主要采用超声波振荡使蚕丝的丝胶与丝素快速分离。如图 4.8 所示，超声波振动能量足够高时，就会产生“空化”现象。利用超声波的“空化”作用，加快蚕丝丝胶的脱离速度，从而达到实验目的。此实验

方法快速，实验数据准确，能严格控制实验的温度和时间，减少误差，此实验省时省力，方便准确。

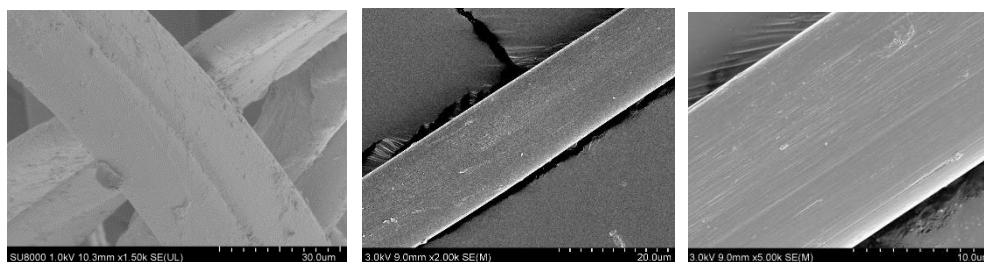


图 4.8 超声波空化脱胶原理模拟

4.6.5 蚕丝含胶率快速测试仪器的测试方法

测试时，把准备测试的蚕丝纤维烘干并称量，记为 G_0 ，打开机门 2，将蚕丝纤维放入滚筒 6 中，关闭机门 2。从外进水管 11 引入纯水，纯水通过电磁阀 10、内进水管 9 进入水箱 5，控制引入纯水量，保证水箱 5 中纯水水位超出滚筒 6 最下端 2cm-3cm，通过控制面板 4 设置超声波振荡频率、加热温度、工作时间、烘干时间，打开超声波振荡器 15 和电热器 16，超声波频率控制在 20-40kHz，功率为 1kW，由于超声波的“空化”作用，使纯水与纤维快速、充分润湿、渗透，胶与纤维不断地分离。加热温度可设定 50°C-80°C，以不影响纤维性能为准，纤维上的胶在温水中更容易润湿并脱离纤维。启动变频电机 8，变频电机 8 通过转轴 7 带动滚筒 6 高速旋转，在旋转过程中，纤维与滚筒 6 内壁反复摩擦，加速胶与纤维的分离。达到设定时间后（桑蚕丝设定时间一般在 20-30min 之间；柞蚕丝和蓖麻蚕丝由于含胶率较高设定时间一般在 30-40min 之间），关闭超声波振荡器 15 和电热器 16，打开排水阀 12，脱胶后的溶液通过过滤器 13 从出水管 14 排出，脱胶液进行回收，可做它用。排水结束后启动脱水程序，滚筒 6 高速旋转，将残留在纤维上的多余水分甩干，脱水结束后，启动红外烘烤器 17，对脱水后的纤维进行快速烘烤，烘烤结束后，关闭红外烘烤器 17，将纤维从滚筒 6 和过滤器 13 中快速取出，烘干称重记为 G_1 ，则纤维含胶率可表示为：

$$\text{蚕丝含胶率} = \frac{(G_0 - G_1)}{G_0} \times 100\%$$



a 脱胶前（1500 倍） b 脱胶后（左 2000 倍，右 5000 倍）

图 4.9 脱胶前后蚕丝形态对比

经过脱胶仪器对蚕丝脱胶后蚕丝的外观形态如图 4.9 所示，图 4.9a 为脱胶前蚕丝的形态结构，可以看出脱胶前，蚕丝纤维上丝胶比较明显，表面呈现图一定凹凸形态；图 4.9b 为脱胶后蚕丝的形态结构，可以看出蚕丝纵向条纹状形态已经非常明显，说明脱胶已经比较彻底。

4.6.6 计算脱胶率

表 4.8 桑蚕平板丝脱胶率

蚕丝种类	脱胶前重量(g)	脱胶后重量(g)	脱胶率 (%)
桑蚕平板丝	0.3	0.1897	36.8
	0.4	0.2598	35.1
	1	0.6323	36.8

表 4.9 桑蚕丝、桑蚕平板丝脱胶率

蚕丝种类	脱胶前重量(g)	脱胶后重量(g)	脱胶率 (%)
桑蚕丝	0.3	0, 2014	32.9
	0.4	0.2688	32.8
	1	0.6695	33.1

4.7 染色性能分析

实验步骤：配制染料溶液（蒸馏水），配制浓度为 5g/L 的染料母液，在电子天平上称取 5g 弱酸红 B，缓慢完全倒入容量瓶中，然后补充 1 升蒸馏水。当达到 1 升刻度线时，用橡胶头滴管小心地补充最终蒸馏水，以完成母液的配制。脱胶前后称取蚕蛹、扁丝 4 片，编号（A1、A2、B1、B2）。根据上述实验公式，计算每一块织物所需的染料和助剂的用量，然后在干净的烧杯中加入指定量的染料溶液和助剂溶液（用分级吸管精确吸收），配制后的水和染料浴的剩余量，放在上面。进入恒温水浴，待温度上升到 90 度，开始计时 1 小时，完成真丝或扁丝的染色实验。

由于丝绸和扁丝的染色，它们都是蚕丝。根据它们的特性，选择酸性染料中典型的弱酸性红 B 进行染色。在脱胶前，由于丝素对染色效果有一定的抑制作用，染色后会在织物表面造成明显的不均匀染色。我们可能在实验前就知道了。这个实验只是为了增加对比度，提高实验能力。之后，为了比较脱胶前后茧丝和扁丝的染色情况，对染色后的 K/S 曲线及脱胶前后的颜色特征值进行测试^[21]。

表 4.10 平板丝和桑蚕丝的染色性能比较

实验	K/S (520nm)	L*	a*	b*	c*	h*	ΔE
平板丝脱胶	13.68	36.56	46.22	3.07	46.32	3.8	66.16
平板丝未脱胶	11.804	38.3	47.78	3.54	47.91	4.23	65.93
蚕茧丝脱胶	21.834	35.54	48.4	4.68	48.63	5.52	70.38
蚕茧丝未脱胶	21.33	34.76	48.26	3.96	48.43	4.96	70.21

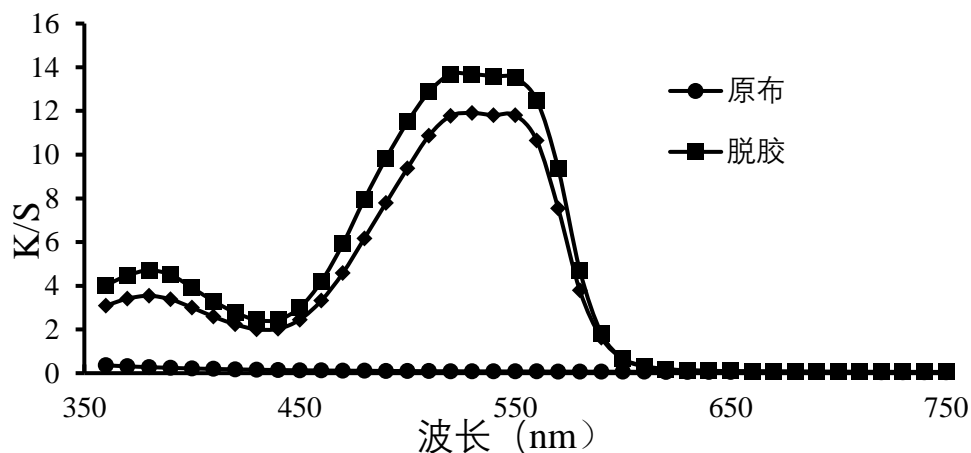


图 4.10 平板丝表观深度 K/S 曲线

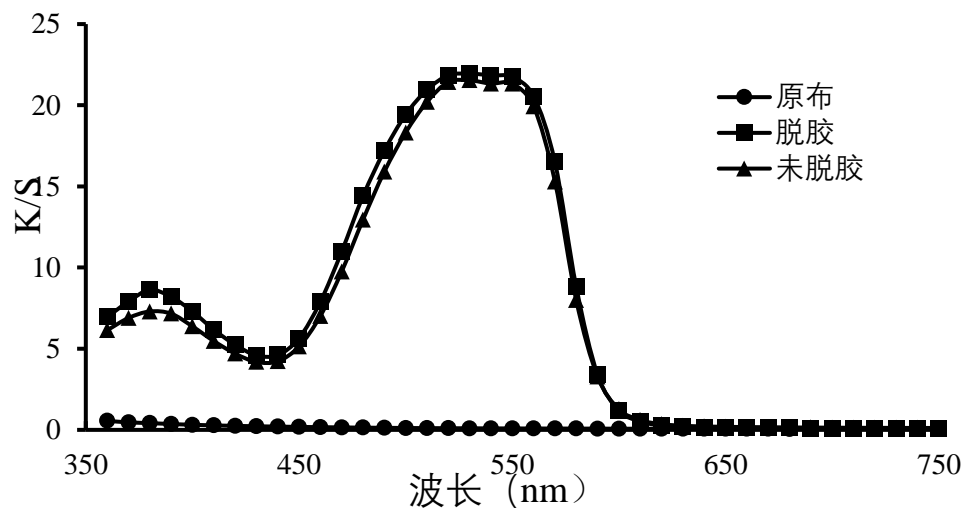


图 4.11 蚕茧丝表面深度 K/S 曲线

蚕茧丝原布的 K/S 曲线表示并不是纵坐标为 0 的一条直线，在波长 350 到 460nm 处，表示未脱胶的蚕茧中存在的丝胶呈现淡黄色，影响了这段的 K/S，表明了蚕茧丝开始并非是完全的白布。蚕茧丝都在波长为 520nm 处达到上染百分率最大值。比较脱胶前后的蚕茧丝，两者的曲线没有多少差异，在波长 380nm 处，达到脱胶前后的平板丝上染率差的最大值。由图中可以看出，脱胶后的蚕茧丝的

上染率略微高于未脱胶的上染率，而且织物的深度 ΔE 和 K/S 脱胶的均比未脱胶的大，说明脱胶后有利于染料上染纤维。从表 4.8 可以看出，平板丝的染色性能不如蚕茧丝的性能好，但是差距不是很大，为平板丝的后续发展（面膜下脚料的绢纺）起到很好的指导作用。

第5章 桑蚕平板丝在面膜中的应用

现有的面膜基布，主要是采用纤维素纤维或者化纤为原料，采用一种或几种不同成网方式制成纤网，经过水刺等方法加固而制成，生产流程长，这些纤维做成的面膜基布与肌肤的亲合力较差，仅仅只是具有精华液载体的功能，不具备仿生智能的功效。

由于蚕丝具有天然护肤功效，用其来制作面膜材料一直被尝试，杨佩等人分别采用传统水刺法、造纸法和手工法制作蚕丝面膜基布，使用尿素法提取加工前蚕丝纤维原料和加工后面膜基布中的丝胶蛋白，通过 LC-MS/MS 实验发现，制成水刺布后未检测到蛋白，说明水刺工艺无法保证蚕丝基布中丝胶蛋白的含量；造纸法面膜基布仅提取出 12 种蛋白，而在手工工艺前的蚕茧中提取出 151 种蛋白，制成面膜基布后提取出 122 种蛋白。

本文打破面膜基布常规的生产方法，利用并且改变蚕吐丝的习性，得到一款薄厚可控的自成型蚕丝面膜基布。桑蚕成熟后会在具有三维结构的结茧工具上进行吐丝，结成椭圆形的蚕茧。如果将吐丝场所限定为二维结构，熟蚕难以找到最佳的营茧场所，则会在平面上编织出一片平面丝块，这就是所谓的无蛹茧。若对平面场所的面积加以限定，并配合自动变光系统，蚕就会将丝均匀地吐在这块区域上，从而可以控制无蛹茧的薄厚，称取一块无蛹茧的重量与面积，再根据面膜材料应当具有的重量与面积，算出需要多少只蚕一同吐丝结茧，进而得到所需形状、大小与厚度的智慧面膜基布。将得到蚕丝面膜基布与市面上流行的功能较优异的 384 仿蚕丝（铜氨纤维）面膜基布各项性能进行比较。

5.1 实验

5.1.1 材料

熟蚕 110 只，66cm×220cm 表面光滑的方形平板，面密度为 38.4g/m² 的铜氨纤维面膜基布（即 384 铜氨纤维面膜基布）。

5.1.2 智慧蚕丝面膜基布的制备

将 20 只熟蚕分别放置于 20 小块表面光滑的平板上吐丝制备无蛹茧，待其完成吐丝之后，将无蛹茧称重，得到无蛹茧的平均重量为 0.62g，为了制备与对比面膜基布同等面密度（38.4g/m²）的基布，将 90 只熟蚕均匀放置在 66cm×220cm 方形平板上，以制作合适面密度的平板丝。在制作过程中，为了更好的控制熟蚕使其吐出的平板丝更加均匀，采用一套自动变光系统，按照一定的时间，自动开启一部分灯光，同时关闭一部分灯光，引导蚕分布均匀。吐丝完毕之后，通过裁剪

得到尺寸合适的面膜基布,如图 5.1 所示。

熟蚕 110 只,66cm×220cm 表面光滑的方形平板,面密度为 38.4g/m² 的铜氨纤维面膜基布(即 384 铜氨纤维面膜基布)。

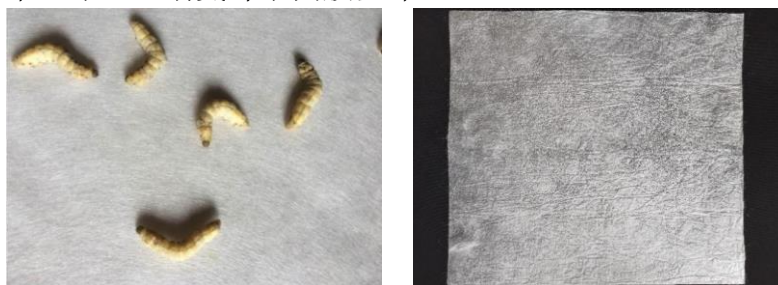


图 5.1 智慧蚕丝面膜基布

5.1.3 性能测试

(1)扫描电镜

采用放大倍数为 500–160,000×的扫描电子显微镜(SEM, Phenom Pro, 荷兰/JSM-5600LV),对智慧蚕丝面膜基布以及 384 铜氨纤维面膜基布的微观形貌进行观察。观察之前会对样品进行喷金,以提高其导电性。

(2)厚度测试

采用电子游标卡尺对两种面膜基布的厚度进行了测试,每个样品的厚度值均取 10 次测量的平均值。

(3)孔隙率

蚕丝的密度 ρ 是 1300 kg/m³,铜氨纤维的密度是 1500 kg/m³,铜氨纤维面膜基布的平方米克重 m 为 38.4 g/m²,蚕丝面膜基布的平方米克重 m 为 38 g/m²,厚度 σ 来源于上面的测试结果。根据公式 $n = 1 - \frac{m}{\rho\sigma}$ 分别算出铜氨纤维面膜基布与智慧蚕丝面膜基布的孔隙率。

孔隙率的计算公式如下所示:

$$n = 1 - \frac{m}{\rho\sigma}$$

式中: n —孔隙率, (%); ρ —纤维密度, g/m³; σ —材料厚度, mm; m —材料的平方米克重, g/m²。

5.1.4 力学性能测试

采用纤维拉伸机(AGS-X)对智慧蚕丝面膜基布以及 384 铜氨纤维面膜基布进行力学性能测试,将试样裁剪成尺寸为 10mm×100mm 的长方形。样品拉伸速度为 100mm/min,隔距 50mm。测试环境中温度为 20±2℃,湿度为 65%±2%。应力(MPa)=强力(N)×10⁻⁶/面积(m²)。

5.1.5 透气性能测试

织物的透气性指的是织物通透性的一项基本性能。透气性的好坏与织物的透湿性、防风性、保暖性有着直接的关系，在人体和外界的能量交换中起着至关重要的作用，因此，也把透气性作为评价纺织品舒适性能的一个重要指标。以下采用 YG461E-III 全自动透气量仪，参考标准 GB/T5433-1997 中的测试方法，对两种面膜基布的透气性能进行测试。试验中选择面积为 20cm² 圆形通气孔、压降为 100Pa。

5.1.6 带液率测试

带液率又称轧余率、轧液率，是表征经轧液后织物带液量的多少，计算公式是：轧液率 = (轧液后织物重 - 轧液前织物重) / 轧液前织物重 × 100%。先将相同质量的不同的基布放在一定的工作液中浸泡一定时间后，在一定的压力下经过轧车轧压，然后测试各块基布的带液率。

5.1.7 抗菌性能测试

(1) LB 培养基配制

LB 液体培养基—用量筒量取 100ml 蒸馏水倒入 250ml 试剂瓶中，用分析电子天平分别称取 1g 胰蛋白胨、0.5g 酵母粉和 1g 氯化钠，将以上称取试剂加入混匀后，于高温高压蒸汽灭菌锅中 121°C 15min 灭菌后待用。

LB 固体培养基—用量筒量取 100ml 蒸馏水倒入 250mL 试剂瓶中，用分析电子天平分别称取 1g 胰蛋白胨、0.5g 酵母粉、1g 氯化钠和 1.5g 琼脂粉，将以上称取试剂加入混匀后，于高温高压蒸汽灭菌锅中 121°C 15min 灭菌。灭菌完成后倒入一次性培养皿中，待充分凝固，放于 37°C 电热恒温箱 12h，观察无细菌生长后，放置于 4°C 冰箱保存备用。

(2) 细菌悬液制备

取两支 15ml 离心管，分别加入 10ml LB 液体培养基，一支加入 20μl 大肠杆菌冻存菌液，另一支作空白对照。用封口膜密封后，放于恒温振荡器（37°C，200rpm）振荡培养过夜（15h），在多功能酶标仪上测得菌液的 OD460 值（OD460 为 0.84，对应菌液浓度为 4.5×10⁸ CFU/ml），然后用 LB 培养基稀释至 10⁶ CFU/ml 备用。

(3) 待测样品处理

将测试样品紫外照射 30min 灭菌。

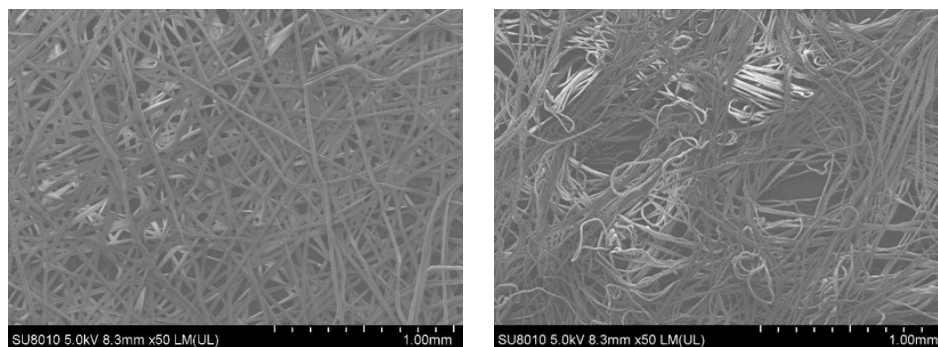
(4) 平板菌落计数测试

取三个 100ml 锥形瓶，按照分组分别向其中加入 10mg 测试样品，然后加入 5ml 上述备用细菌悬液和 45ml LB 液体培养基。对照组为加 5ml 细菌悬液和 45ml LB 液体培养基。然后置于恒温振荡器中（37°C，200rpm）振荡培养 8h，

吸取菌液做连续 10 倍的稀释（本测试采用 1:106、1:107 和 1:108 三个稀释比例）后，均匀涂布于 LB 固体培养基上，37°C 培养 18h，拍照并记录菌落数。

5.2 结果与讨论

5.2.1 两种面膜基布的结构对比



(a)智慧蚕丝面膜基布

(b) 384 铜氨纤维面膜基布

图 5.2 两种面膜基布的微观结构

本文中的铜氨纤维面膜基布是采用水刺法制作的，水刺的工艺过程中，在高压水针的作用下，铜氨纤维之间形成了“Ω”型的交联，面膜表面孔隙大小不均。蚕丝面膜基布上的茧丝是规则的“∞”叠放，依靠丝胶牢固定型，与普通蚕茧上茧丝的排列方式类似，因蚕的吐丝区域大，故较普通茧丝疏松，柔软，孔隙均匀。

5.2.2 厚度

面膜基布的厚度不同，其吸湿、透湿及透气的速度会有差异，导致贴在脸上的舒适感也会有所不同。采用电子游标卡尺对两种面膜基布的厚度进行了测试，每个样品的厚度值均取 10 次测量的平均值，测定的厚度值结果如表 5.1。

表 5.1 不同工艺面膜基布的厚度与孔隙率

工艺参数	智慧蚕丝面膜基布	384 铜氨纤维面膜基布
生产工艺	平板丝	水刺
厚度 (mm)	0.183	0.187
孔隙率 (%)	84	86.3
面密度 (g/m ²)	38	38.4
表观形态	长纤维交错平铺	长纤维柔性缠结

蚕丝与铜氨纤维都比较细，相似克重下，二者的面膜基布厚度非常接近。384 铜氨纤维面膜基布是工业化生产，厚度均匀，蚕丝面膜基布利用蚕吐丝的习性，辅助智能灯光系统加以控制，但主体蚕是自由的，尽管基布上面蚕丝的分布已经比较均匀，不同区域厚度还是会有差异。

5.2.3 孔隙率

面膜基布的孔隙率反映了其透气性的好坏。一般孔隙率越大，即所含孔隙体积越多，材料通透性越好。通过计算，得到两种面膜基布的孔隙率，见表 1。蚕丝面膜基布的孔隙率略小于铜氨纤维面膜基布，从扫描电镜图片上可以看到，两种面膜基布的孔隙大小与分布也呈现出不同的状态，蚕丝面膜基布的孔隙大小均匀，分布也比较均匀，这是因为蚕吐平板丝时，在灯光系统的干预下，吐丝轨迹得到合理的控制，形成的面膜基布薄厚均匀，且蚕在吐丝过程中摆头的动作基本一致。铜氨纤维面膜基布长丝呈束状聚集，水针作用于纤网时，部分长丝成 Ω 形状包裹纤维束，如图 5.2 (b)，在面膜基布表面会形成比较大的孔隙。

5.2.4 力学性能

蚕丝纤维由丝胶的作用粘结在一起形成片状的平板丝，粘结点多且均匀，所以干态下蚕丝面膜基布的强力相对于铜氨纤维面膜基布要高，断裂伸长小，手感偏硬，不易变形。常温下充分浸湿后，丝胶之间的作用力受到了破坏，蚕丝纤维间容易产生相对位移，蚕丝面膜基布的手感变软，强力变小，伸长率变大。铜氨纤维面膜基布在湿态下，其强力也变小，伸长率变大，湿态下蚕丝纤维面膜基布的断裂强力仍高于铜氨纤维面膜基布，说明在常温湿态下，丝胶间的粘结力虽有减少，但仍高于水刺工艺纤维间的抱合力。

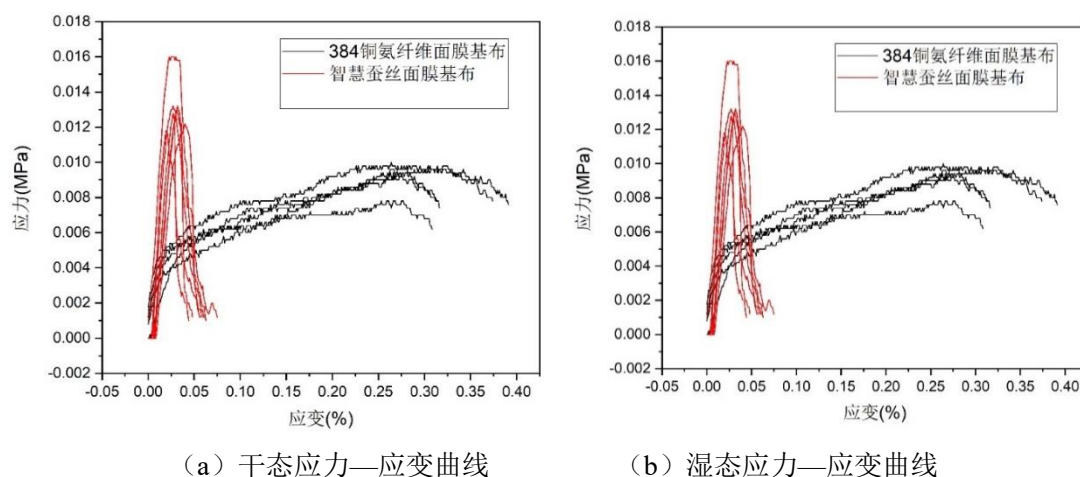


图 5.3 两种面膜基布干、湿态下的应力—应变曲线

5.2.5 透气性能

蚕丝纤维的密度比铜氨纤维小，而且纤维又是以平铺的方式形成面膜基布，所以外形结构相对致密，孔隙小且均匀，丝胶之间的粘结力使纤维间相对位置稳定。铜氨纤维面膜基布是依靠水刺工艺产生的“ Ω ”型交联使纤维束聚集稳定，长丝之间没有连接作用，同时面膜基布表面又形成多个均匀且较大的透气孔，所以

其透气性能要优于蚕丝纤维面膜基布。蚕丝纤维面膜是天然成型，虽然可以对其薄厚进行控制，但在不同的平板丝上，同一相对位置，薄厚会存在差异，使得透气性能有一定的浮动。

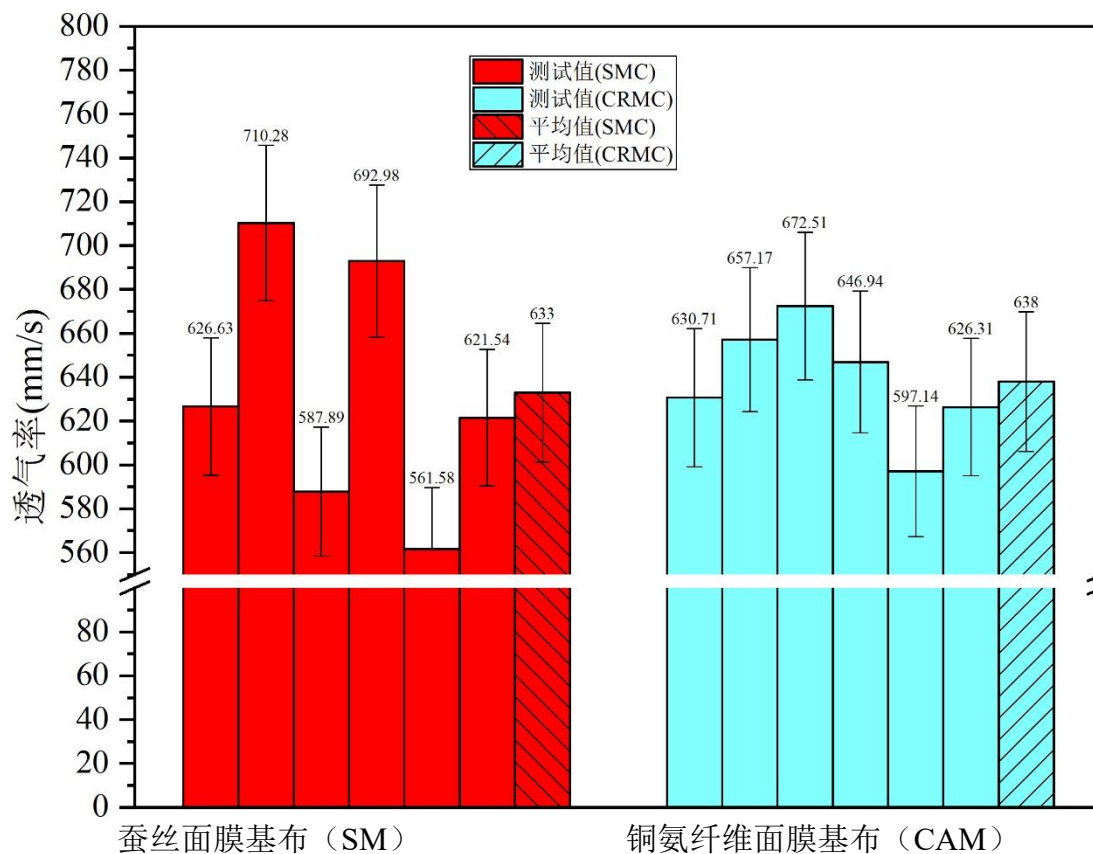


图 5.4 两种面膜基布的透气性能对比

5.2.6 带液率

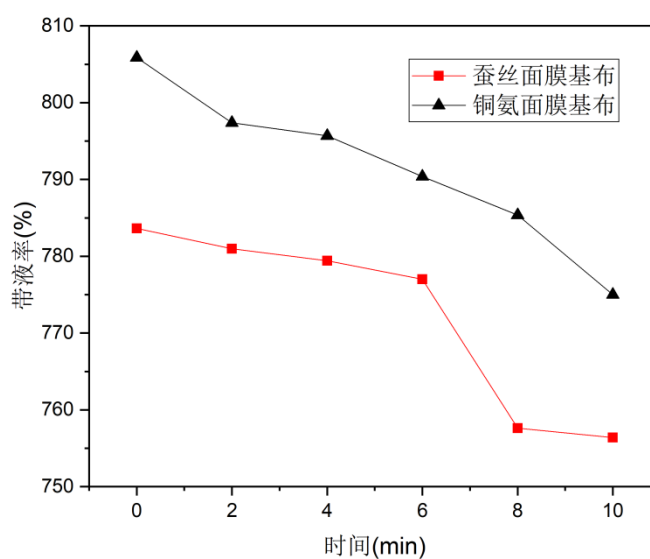
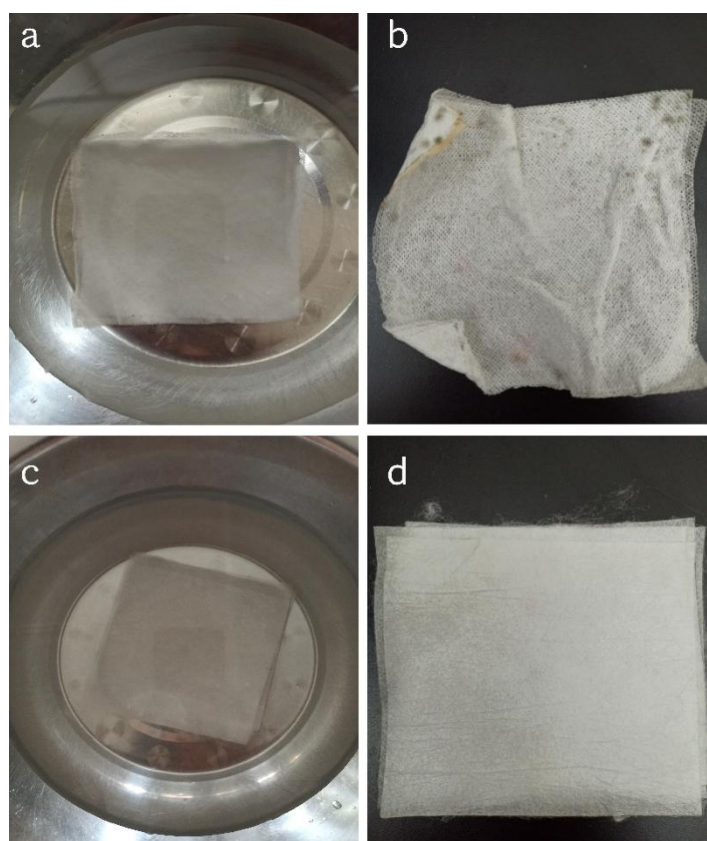


图 5.5 两种面膜基布的带液率

面膜基布的厚度和孔径直接影响带液性。面膜基布的带液分为纤维表面吸附水和纤维间的毛细管吸附水，即面膜基布的孔隙也能储存液体。相同面密度，面膜基布越蓬松，孔隙越多，储存的液体越多，则带液越多。由于铜氨与蚕丝属于不同种类的材料，而且其加工工艺不同，厚度和孔径不成比例，故考虑孔隙率作为影响其带液率的因变量，孔隙率越大，则带液能力强，带液率高。

5.2.7 抗菌性能

将做完带液率实验的样品叠放在一起，放在干燥容器内 48 小时后，两种面膜布均已变干，第 2-第 5 组铜氨面膜布上面长满了霉斑，而蚕丝面膜布上没有任何菌斑。

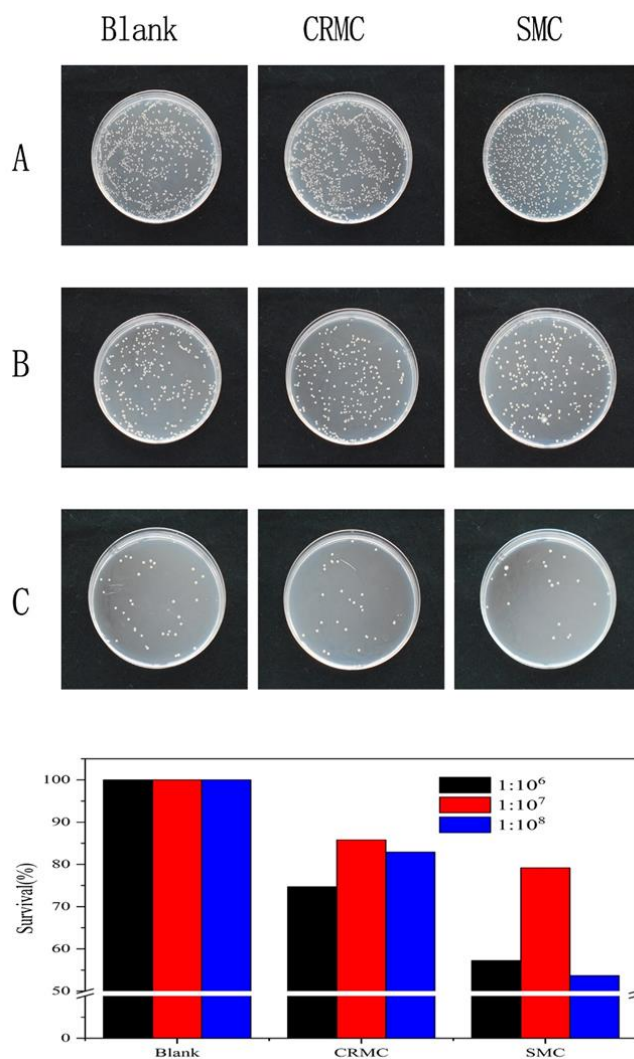


(a) 充分润湿状态下的铜氨纤维面膜布；(b) 自然干燥后的铜氨纤维面膜布；
(c) 充分润湿状态下的蚕丝纤维面膜布；(d) 自然干燥后的蚕丝纤维面膜布

图 5.6 两种面膜的抗霉菌效果

从图 5.7 的测试结果来看，在三个不同的稀释比例下，铜氨纤维面膜与蚕丝面膜都具有一定的抗菌性，铜氨纤维面膜对大肠杆菌的抗菌性都不及蚕丝面膜，尤其是在 $1:10^6$ 与 $1:10^8$ 两种稀释比例下，蚕丝纤维面膜的抗菌性明显高于铜氨纤维面膜。此外，据文献报道，目前广泛采用纳米银颗粒对蚕丝进行处理以提高其抗菌性。处理后的抗菌率可以高于 90%。所以，蚕丝面膜在抗菌性能方面具有

更高的潜力。



(a) 1: 10⁶ 的稀释比例; (b) 1: 10⁷ 的稀释比例; (c) 1: 10⁸ 的稀释比例

图 5.7 两种面膜布的抗菌效果

5.3 结论

本文设计与制作的智慧蚕丝面膜布生产工艺简单，保留了蚕丝纤维上面所有的丝胶，面膜布在成型过程中不需要添加任何化学试剂。经过对比实验，发现智慧蚕丝面膜布在厚度、克重、孔隙率方面，都十分接近目前应用性能最好的 384 铜氨纤维面膜布。伸长、透气与带液率略小于铜氨纤维面膜布，干、湿强与抗菌性能优于铜氨纤维面膜布。智慧蚕丝面膜布独特的亲肤、护肤及抑菌性使其具有广阔的应用前景。

总结

本课题主要研究了桑蚕平板丝的制作，桑蚕茧与桑蚕平板丝微细结构对比，以及各项性能研究对比。

(1) 桑蚕平板丝制作是桑蚕成熟后改变其桑蚕吐丝习性，使三维立体结构变成二维平面结构，在不具有支点的特殊平面设备上均匀吐丝，形成平板丝。桑蚕蚕茧与桑蚕平板丝外观结构略有不同，茧层紧致，不易撕扯，平板丝表面光滑洁净，蓬松柔软，不需后处理，可以随意裁剪制作高档丝绵被。

(2) 桑蚕蚕茧、桑蚕平板丝的强伸性、透气性。桑蚕平板丝伸力变化不大，平均强力大于桑蚕茧，韧性好。桑蚕平板丝透气率大于桑蚕茧，更加透气舒适。

(3) 桑蚕蚕丝、桑蚕平板丝的两种脱胶方法与线密度、回潮率数据的对比，三组实验数据结果对比并没有太大差异。脱胶后的平板丝，染色率、断裂强度大于桑蚕丝，平板丝承受拉力大，柔韧性较好。蚕丝脱胶后的染色率大于未脱胶的蚕丝。

蚕丝纤维是一种娇贵的天然纤维，一直深受大家喜爱，但随着社会生活水平提高，绿色健康舒适地纺织品市场开始慢慢扩大。平板吐丝成膜后，因其蓬松柔软而穿着舒适，整体性能好可任意裁剪而制作方便，经过消毒、保湿处理可作为生产面膜的材料。蚕丝内部约 38% 都是空心，其锁水能力是自身重量的 10 倍还多，具有极大的透气性不会反吸；抗皱自然，蚕丝蛋白肽中释放出的各种氨基酸分子更容易被毛发及皮肤吸收，促进胶原蛋白的分泌。

(4) 桑蚕平板丝伸长、透气与带液率略小于铜氨纤维面膜布，干、湿强与抗菌性能优于铜氨纤维面膜布。智慧蚕丝面膜布独特的亲肤、护肤及抑菌性使其具有广阔的应用前景。

桑蚕平板丝的制作与出现大大地节省很多繁琐的工序，不用缫丝，减少劳力，如果一直致力于开发平板丝的话，会有更广泛的应用。

参考文献

- [1] 翟才新、张荣华、周彬:《纺织材料基础》[M], 中国纺织出版社, 2017年。
- [2] 陆小平、郑小坚:《丝画制作工艺》[M], 中国纺织出版社, 2014年。
- [3] 宁清:《玉林市桑蚕业发展现状及对策》[M], 中国纺织出版社,2010年。
- [4] 蔡再生:《纤维化学与物理》[M], 科学出版社,2009年第二版。
- [5] 王来力:《蜘蛛丝与蚕丝的比较研究》[M], 中国纺织出版社,2009年。
- [6] 姜为青,位丽,樊理山,毛雷.菊花色素的稳定性及其在蓖麻蚕丝上的染色性能研究[J].毛纺科技,2016,44(10):35-40.
- [7] 姜为青,樊理山,张月华,周彬,赵磊.蓖麻蚕丝的结构及其残胶超声成膜的应用研究[J].丝绸,2015,52(09):6-10.
- [8] 姜为青,樊理山,毛雷,沈春植.14.6 tex 50/50 蓖麻蚕丝/PTT 混纺纱的开发[J].上海纺织科技,2015,43(08):77-79.
- [9] 吴志平,姜乃珍.1955至1956年江苏省蓖麻蚕试验繁育情况辑录[J].江苏丝绸,2018(04):28-33.
- [10] 张志鹏、杨兴:《家蚕平面茧与普通茧微观结构和部分性能对比》[M], 中国纺织出版社, 2007年
- [11] 赵磊.蓖麻蚕丝的提取及其与 Modal 混纺纱的开发[J].上海纺织科技,2014,42(10):35-37+43.
- [12] 张国兵,樊理山.蓖麻蚕丝木瓜蛋白酶脱胶工艺的研究[J].辽宁丝绸,2011(02):13-14+24.
- [13] 何忠琴.丝素蛋白的高次结构[J].国外丝绸,2008(02):1-4.
- [14] 徐梅,左保齐.再生蓖麻蚕丝素蛋白静电纺丝的结构研究[J].丝绸,2008(03):16-18+39.
- [15] 王慧玲、周彬、黄素平:发明专利:一种基于滚筒法测试含胶类纤维含胶率的仪器[P], 国家知识产权局,201811077724.公布日期:2018-12-18。
- [16] 王慧玲、周彬、黄素平:实用新型:一种基于滚筒法测试含胶类纤维含胶率的仪器[P], 国家知识产权局,201821509161.3.授权日期:2019-04-12。
- [17] Yang, M. Silk-based biomaterials. *Microscopy Research and Technique* 2017, 80, 269-271, doi:10.1002/jemt.22846.
- [18] Lichtenegger, H.C.; Schoberl, T.; Ruokolainen, J.T.; Cross, J.O.; Heald, S.M.; Birkedal, H.; Waite, J.H.; Stucky, G.D. Zinc and mechanical prowess in the jaws of *Nereis*, a marine worm. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 2003, 100, 9144-9149, doi:10.1073/pnas.1632658100.
- [19] Pakdel, E.; Daoud, W.A.; Afrin, T.; Sun, L.; Wang, X. Self-cleaning wool: effect of noble metals and silica on visible-light-induced functionalities of nano TiO₂ colloid. *Journal of the Textile Institute* 2015, 106, 1348-1361, doi:10.1080/00405000.2014.995461.
- [20] Peng, F.; Zhang, D.; Wang, D.; Liu, L.; Zhang, Y.; Liu, X. Enhanced corrosion resistance and biocompatibility of magnesium alloy by hydroxyapatite/graphene oxide bilayer coating. *Materials Letters* 2020, 264, doi:10.1016/j.matlet.2020.127322.

致谢

盐城工业职业技术学院以其优良的学习风气和氛围教我求学，以其博大宽怀的胸襟，欢声笑语，浪漫充实的校园生活育我成人，在这三年的学习期间里，我得到了很多老师、同学和朋友的关怀和帮忙。在论文即将完成之际，我要向在所有期间给予我支持、帮忙和鼓励的人表示我最诚挚的谢意。

首先这次的毕业设计是在大学生涯中的最后一次作业，我要感谢我的指导老师周彬老师和位丽老师。从论文的选题、构思、撰写到最终的定稿，两位老师都给了我指导和帮忙，她在我做毕业设计过程中对我悉心的指导，遇到不懂的地方老师会帮助我解决问题，这才能使我的毕业论文能够顺利的完成。他对工作的认真负责，兢兢业业和一丝不苟的治学态度，使我受益匪浅。对学术的钻研精神和严谨的学风，这些都是值得我去终生学习的。

其次也感谢在实验过程中给予我帮助的黄素平老师跟我的同学韩琳、吴琼，她们的陪伴与鼓励支撑着我戒骄戒躁、细心探索。在她们的帮助下我走完了大学的最后一段路程，充实且美好。

最后，感谢我的家人在此期间给予我的包容、关爱和鼓励，是你们的支持才让我有学习的动力。以及所有陪我一路走来的同学和朋友，因为有你们的陪伴，我三年的大学生活才会充满欢声笑语，我遇到困难的时候你们会陪我一起解决，支招。大学三年有你们不孤单。

月有盈亏花有开谢，想人生最苦离别。衷心地祝愿母校花开不败，师友前程似锦！

