

DOI: 10.19398/j.att.201709032

引用格式: 吕振飞, 邢秋明, 孙再俊, 江文斌. 不同烘茧温度对茧丝品质的影响[J]. 现代纺织技术, 2019, 27(1): 11-14, 31.

不同烘茧温度对茧丝品质的影响

吕振飞¹, 邢秋明², 孙再俊¹, 江文斌^{1,3}

(1. 浙江理工大学材料与纺织学院, 杭州 310018; 2. 湖州市纤维检验所, 浙江湖州 313000; 3. 湖州浙江理工大学新型纺织研究院, 浙江湖州 313000)

摘要: 采用热风循环烘茧机对蚕茧进行干燥, 探讨了不同头冲温度对生丝力学性能和丝胶结构的影响。通过一粒缫、力学性能测试、热重分析和红外光谱法分别对不同头冲温度处理后缫制生丝的力学性能、落绪分布和丝胶结构进行了研究, 并用视频光学接触角测量仪观察了茧层的亲水性。研究表明, 鲜茧经过高温干燥后茧层丝胶会产生热变性, 理化性能发生改变, 茧层丝胶的分子结构从无规卷曲向 β -折叠结构转化。当头冲温度为 105 °C 时, 生丝力学性能最好, 洁净成绩最高, 且热稳定性最好。

关键词: 头冲温度; 落绪分布; 生丝; 力学性能; 丝胶变性

中图分类号: TS143.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-265X(2019)01-0011-04

Effects of Different Drying Temperature on the Quality of Cocoon Silk

LÜ Zhenfei¹, XING Qiuming², SUN Zaijun¹, JIANG Wenbin^{1,3}

(1. College of Materials and Textiles, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China;
2. Huzhou Fiber Inspection Institute, Huzhou 313000, China; 3. Huzhou Zhejiang Sci-Tech University Novel Textile Research Institute, Huzhou 313000, China)

Abstract: The hot air circulation drying machine was used to dry cocoons, and the influence of different primary drying temperature on the mechanical properties and sericin structure of raw silk was discussed. The mechanical properties, dropping end distribution and sericin structure of raw silk treated with different primary drying temperature were studied by means of single cocoon reeling, mechanical property test, thermogravimetric analysis and infrared spectroscopy. Besides, the video optical contact angle meter was applied to observe the hydrophilicity of the cocoon layer. Studies showed that sericin at the cocoon layer generated thermotropy after the cocoons were dried under high temperature, and the physical and chemical properties of the cocoons were changed. The molecular structure of sericin at the cocoon layer transformed from the random coil to the beta-folding structure. When the primary drying temperature was 105 °C, the mechanical property, neatness and thermal stability of raw silk were the best.

Key words: primary drying temperature; dropping end distribution; raw silk; mechanical property; sericin denaturation

收稿日期: 2017-09-24 **网络出版日期:** 2018-01-10

基金项目: 纺织科学与工程浙江省重中之重一级学科项目 (2015KF13)

作者简介: 吕振飞 (1993-), 男, 安徽淮北人, 硕士研究生, 主要从事蚕丝纤维加工技术方面的研究。

通信作者: 江文斌, E-mail: hfjwb@163.com

在制丝工业中, 烘茧是一道很重要的工序。烘茧的目的是烘杀蚕蛹和寄生的蝇蛆, 同时除去鲜茧中所含的水分, 使其能长期贮藏。在烘茧过程中, 既要不损伤茧质, 又要使丝胶适当变性, 利于缫丝, 提高生丝品位^[1]。陈建勇等^[2]、傅雅琴等^[3]利用热蒸

汽干燥蚕茧,认为烘茧能增加外层丝胶的煮茧时抵抗力,提高出丝率和洁净成绩。在实际烘茧过程中,通常分为头冲和二冲两个阶段。头冲阶段就是干燥过程中的预热与等速干燥阶段,二冲阶段就是减速干燥阶段,即半干茧进灶至达到适干标准时为止。影响蚕茧干燥的主要工艺因素有温度、湿度、风速和铺茧量等。陈锦祥等^[4]认为在生产实践中干燥工艺的主要控制对象是温度,它不仅是影响干燥能力的主要因素,也是影响茧质的首因。陈时若等^[5]通过试验表明,在中国沿用的二次干燥工艺中,对解舒率的影响,以头冲的温度占首位,二冲的温度次之,并研究了空气温湿度与解舒率、出丝率之间的关系,蚕茧的其他指标没有探讨。并且,蚕茧经干燥后,茧层丝胶作为蛋白质受热后会产生热变性,其理化性能将发生改变。基于此,本文设置不同的头冲干燥温度,探讨不同头冲干燥温度对蚕茧落绪分布、生丝力学性能、生丝热力学性能以及生丝基团结构等方面的影响。并选择合适的头冲干燥温度,使其满足于实际生产需要。

1 材料与方 法

1.1 原料和仪器

供试蚕茧为湖州市朱家兜同一批次的 2017 年春茧,家蚕品种为秋风×白玉及其反交。

实验室自制热风循环烘茧机^[6],HH-S 数显恒温水浴锅(常州翔天实验仪器厂),JCY-4 型视频光学接触角测量仪(上海方瑞仪器有限公司),YG-731 型检尺器(无锡市第二纺织机械厂),PYRIS 1 型热重分析仪(美国 Perkin Elmer 公司),Nicolet 5700 型傅立叶红外光谱仪(美国尼高力公司)。

1.2 实验方法

1.2.1 蚕茧干燥

5 种类型的干燥温度组合见表 1。将同一庄口的春茧在热风循环烘茧机中进行干燥实验,头冲和二冲各为 2.5 h(头冲前、后阶段各 1.25 h),其中 a 组为鲜茧,不进行干燥。

表 1 不同头冲温度组合 $^{\circ}\text{C}$

样品编号	a	b	c	d	e	
温度	头冲前阶段	—	95	100	105	110
	头冲后阶段	—	90	95	100	105

1.2.2 茧层接触角测试

分别将鲜茧及干燥处理后的蚕茧剖开,除去蚕蛹,取束腰部位,剪成平整的块状;将试验用蚕茧分

为 5 组,先于恒温恒湿($20\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$,相对湿度 $65\%\pm 5\%$)条件下平衡处理 24 h;处理后在恒温恒湿($20\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$,相对湿度 $65\%\pm 5\%$)条件下,用视频光学接触角测量仪测试观察去离子水液滴在茧层表面的形态变化,记录液滴与茧层的瞬间接触角(θ)值。为了减小试验误差,每组试验测试数据除去偏差最大和最小的 2 个数据,再对其他数据取平均值。

1.2.3 蚕茧落绪分布测试

在同一水平下对蚕茧真空渗透,经同一煮茧工艺煮熟后,采用一粒纛测定方法,测定时记录断头次数及茧层落绪位置,纛至茧子蛹衣位置或断头后不能添绪为止,从检尺器上读出所搔取的百回数。每组测定 100 粒茧子。

1.2.4 生丝力学性能测试

采用 XL-2 型纱线强伸度仪测量生丝单丝强伸力。拉伸速度为 500 mm/min ,夹距距离为 500 mm ,预加张力为 0.05 cN/dtex ,测试次数为 40 次。

1.2.5 生丝清洁、洁净及抱合测试

按照 GB/T 1978—2008《生丝试验方法》对样丝清洁、洁净及抱合进行调查。

1.2.6 热力学性能测试

分别称取生丝样品 $1.0\sim 1.5\text{ mg}$, N_2 保护,升温速率为 $10\text{ }^{\circ}\text{C/min}$,测试温度范围 $25\sim 500\text{ }^{\circ}\text{C}$,测量生丝的热稳定性能。

1.2.7 红外光谱测试

用 Y172 型纤维切片器将所测样丝切成粉末,以生丝:KBr 大约 $1:100$ 的比例进行研磨并混合均匀,压成透明薄片,采用 Nicolet 5700 型红外光谱仪对样品进行测试。测定范围 $4\ 000\sim 400\text{ cm}^{-1}$ 。

2 结果与讨论

2.1 茧层表面的瞬间接触角变化

由于茧层之间的差异,采取多次重复试验取平均值的方法记录数据。经不同干燥温度处理后的茧层接触角值如表 2 所示,图 1 为不同干燥温度处理后液滴与茧层接触瞬间的形态。从表 2 和图 1 可以看出,鲜茧的接触角值最小(121.02°),且茧层表面与液滴的接触面最大。其余 4 组样品,随着头冲温度的提高,其茧层接触角值也在不断增大。首先,茧层表面的蜡质物及网状结构会阻止水分在茧层中的渗透,茧层表现为疏水性;其次,热风烘茧时茧层受到热空气的影响,丝胶蛋白质侧链基团的热运动加剧,大量高动能的水分子进入丝胶分子内,破坏氢键等次价键,使丝胶非晶区发生重排,发生了变性,有些亲水

的基因反转向内,疏水基团转向外面,所以使茧层疏水性增加,不易溶于水^[7-8]。因此,干茧茧层与液滴的瞬间接触角值均大于鲜茧,且随着头冲干燥温度的增加,丝胶变性越大,茧层的接触角值也就越大。

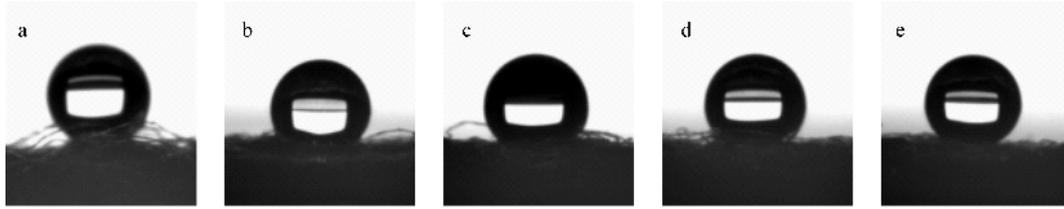


图 1 液滴与经不同干燥温度处理后的茧层表面的瞬间接触形态比较

表 2 不同干燥温度处理后的茧层接触角值 (°)

样品编号	a	b	c	d	e
θ	121.02	124.18	127.59	130.75	131.87

2.2 不同头冲温度对蚕茧落绪分布的影响

图 2 所示为经不同干燥温度处理后蚕茧的落绪位置分布(每个水平测定 100 粒蚕茧)。从图 2 可以看出,鲜茧茧层落绪主要分布在外层和内层,这是因为茧层丝胶含量由外到内呈减少趋势,外层丝胶含量大于中层,很容易造成异常胶着和渗透煮茧时胶着点膨润不均匀,外层断头比中层多;内层丝胶含量少,且内层生丝纤度较细,到接近蛹衬位置时极易发生断头,所以造成了鲜茧内层落绪最多的现象。此外,从图 2 中还可以看出鲜茧缫丝落绪次数要远远多于干茧缫丝。这是由于鲜茧经过热风烘茧机干燥之后,能使茧内、外层丝胶均匀变性,在适当的煮茧条件下,丝胶容易膨润溶解,丝胶异常胶着情况减少。当头冲干燥温度为 110 °C 时,蚕茧的落绪次数最少,且所有 4 组经干燥后的蚕茧落绪次数均少于鲜茧。

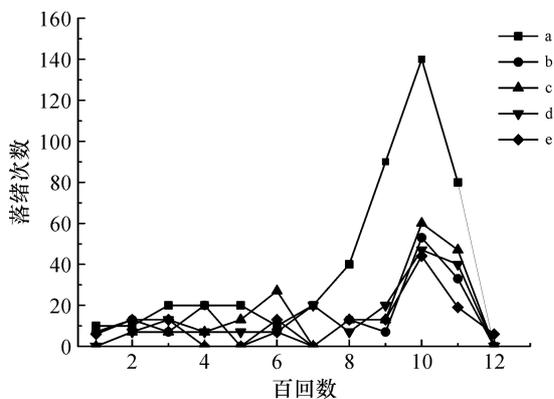


图 2 茧层落绪位置分布

2.3 不同头冲温度对生丝力学性能的影响

表 3 为不同干燥温度对生丝力学性能的影响。表 3 数据显示,鲜茧丝的断裂强度与断裂伸长率最低,分别为 3.85 cN/dtex 和 17.13%,明显低于经干燥处理后缫制的生丝。头冲干燥温度为 105 °C 缫制

的生丝断裂强度最大,为 4.22 cN/dtex;变异系数最小,为 2.81%。头冲温度为 100 °C 缫制的生丝断裂伸长率最高,为 21.56%,变异系数为 8.43%。由此可见,鲜茧经过干燥后缫制的生丝,力学性能得到明显提高,生丝质量稳定性更好。

表 3 不同干燥温度对生丝力学性能的影响

样品编号	断裂强度		断裂伸长率	
	平均值/ (cN · dtex ⁻¹)	CV 值/ %	平均值/ %	CV 值/ %
a	3.85	4.97	17.13	11.71
b	4.22	4.02	20.61	8.44
c	4.21	5.02	21.56	8.43
d	4.22	2.81	20.71	6.03
e	4.05	3.35	18.82	6.10

2.4 不同头冲温度对生丝清洁、洁净及抱合的影响

生丝的抱合、清洁和洁净指标的好坏,直接影响生丝的织造性能,对高速织机尤为重要。表 4 为不同头冲干燥温度对生丝清洁、洁净及抱合的影响。表 4 数据显示,经不同头冲温度干燥后缫制的生丝,其清洁指标与鲜茧丝基本相同,洁净指标有所提高,平均提高 0.78 分,最多的提高 1.40 分。经干燥处理后缫制的生丝其抱合平均值远大于鲜茧丝抱合的平均值。鲜茧丝的洁净分数低于干茧丝,这是因为鲜茧不经过煮茧工艺直接缫丝,丝胶没有得到充分膨润,生丝表面环颍增多。另一方面通过烘茧茧层丝胶发生变性,茧子的抗煮能力提高,有利于在煮茧、缫丝环节采取一定的工艺来减少环颍。所以鲜茧丝的洁净分数低于干茧丝^[9]。生丝是由几根茧丝抱合组成的,茧丝通过丝胶粘结在一起。而对鲜茧进行干燥处理,可以使得茧层丝胶适当变性,茧丝之间结合更紧密,从而大幅提高生丝的抱合性能。

表 4 不同干燥温度对生丝清洁、洁净及抱合的影响

样品编号	清洁/分	洁净/分	抱合/次
a	99.10	94.20	73
b	99.00	95.00	91
c	99.20	94.70	92
d	99.20	95.60	100
e	98.20	94.60	95

2.5 不同头冲温度对生丝热力学性能的影响

图 3 为经不同干燥温度处理后生丝的热失重曲线(TGA),可见生丝在整个升温过程中都伴随着质量的损失。其中,生丝质量开始损失的第一个阶段发生在 25~120 °C 的温度范围内,这一阶段的质量损失是由于丝纤维中的水分蒸发导致^[10]。样丝的质量损失主要发生在 280~350 °C 的温度范围内,此阶段样丝在高温中熔融分解,从图 3 中可以看出鲜茧丝与干茧丝的热分解过程比较类似。鲜茧丝与干茧丝的质量损失峰值温度如表 5 所示,对比发现,鲜茧丝的最大质量损失速率点温度略低于干茧丝。此外,经不同头冲温度处理后缫制的生丝,其最大质量损失速率点温度也略有不同,其中头冲温度为 105 °C 缫制的生丝,最大质量损失速率点温度最高,为 338.140 °C,说明其热稳定性最好。

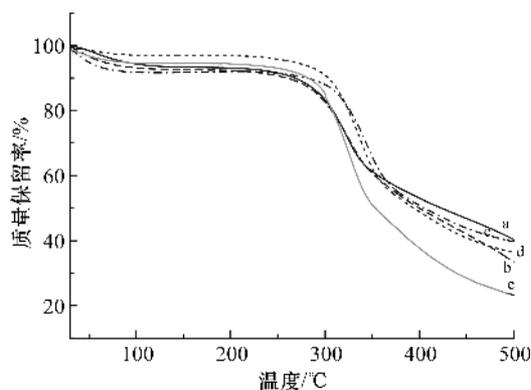


图 3 经不同温度干燥处理后生丝的热失重曲线

表 5 不同干燥温度处理后生丝的最大失重速率点温度和质量保留率

样品编号	最大失重速率点温度/°C	质量保留率/%
a	322.280	72.468
b	328.480	69.491
c	335.430	69.537
d	338.140	70.520
e	328.770	66.016

2.6 不同头冲温度处理后生丝的红外光谱分析

图 4 为经不同干燥温度处理缫制的生丝与鲜茧丝的红外光谱图。图 4 显示,经不同干燥温度处理后的生丝与鲜茧丝的红外吸收光谱图基本相似。其特征峰位置均出现在 1 230 cm^{-1} (酰胺 III)、1 520 cm^{-1} (酰胺 II)、1 650 cm^{-1} (酰胺 I)、3 420 cm^{-1} (蛋白质 N-H 伸缩振动特征峰)附近处^[11-12],但是鲜茧丝的酰胺 V 特征峰位置出现在 632 cm^{-1} 处,经干燥温度处理后的生丝酰胺 V 特征峰位置出现在 668 cm^{-1} 处,这表明鲜茧经过干燥后,丝胶蛋白发生变性,茧层丝胶的分子构象发生了从无规卷曲向 β -折叠结构的转化。茧丝内部的非晶区减少,结晶度有所提高。

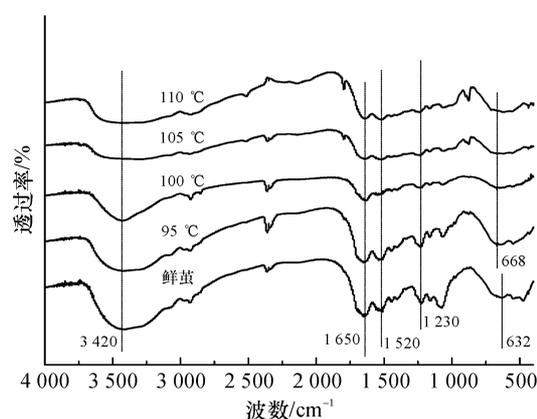


图 4 生丝的红外光谱

3 结 论

a) 蚕茧经过干燥后,茧层表面的疏水性随着干燥温度的增加而增加,鲜茧表面的亲水性要优于干茧;干茧的落绪次数比鲜茧少得多,特别是内层落绪次数。

b) 头冲温度为 105 °C 时,缫制的生丝力学性能最好,断裂强度为 4.22 cN/dtex,断裂伸长率为 20.71%;与此同时,头冲温度 105 °C 缫制的生丝清洁、洁净与抱合也优于其他头冲温度缫制的生丝。

c) 热重分析结果表明鲜茧经过干燥后,热分解温度提高,头冲温度为 105 °C 缫制的生丝,最大质量损失速率点温度最高,为 338.140 °C,说明其热稳定性最好。

d) 红外光谱结果表明鲜茧经过干燥后,酰胺 V 特征峰的位置发生了移动,茧层丝胶的分子构象发生了从无规卷曲(鲜茧丝)向 β -折叠结构(干茧丝)的转化。

(下转第 31 页)