

柔软改性对柞蚕丝拉伸性能和染色性能的影响

张炜¹, 张娟², 董鹏飞¹, 柴雄³, 李惠军¹

(1. 新疆大学 纺织与服装学院, 乌鲁木齐 830046; 2. 大连工业大学 辽宁省清洁化纺织重点实验室, 大连 116034;
3. 上海海事大学 商船学院, 上海 201306)

摘要: 选用双棕榈羧乙基羟乙基甲基硫酸甲酯铵盐对柞蚕丝进行柔软改性, 之后改变工艺条件用直接果绿 LG 对柞蚕丝染色, 在最佳条件下改变柔软和染色顺序用叶绿素铜钠、活性红-BES 和直接果绿 LG 对柞蚕丝进行染色比较。实验结果表明: 经柔软改性后的柞蚕丝断裂强力减小, 断裂伸长率增大; K/S 值、红绿值 a^* 、黄蓝值 b^* 和色差 DE^* 随着物料比的增大而增大, 而红绿值 a^* 和黄蓝值 b^* 都随染液 pH 值的增大而增加, K/S 值随 pH 值的增大而缓慢减小, 色差 DE^* 随 pH 值的增大几乎不变; 柔软改性能提高柞蚕丝的 K/S 值, 且先柔软后染色性能远高于先染色后柔软, 但柔软改性对色牢度提升不明显。

关键词: 柞蚕丝; 柔软剂; 柔软改性; 拉伸性能; 染色性能

中图分类号: TS195.5 文献标志码: A 文章编号: 1001-7003(2018)12-0018-07 引用页码: 121104

Effect of soft modification on tensile properties and dyeing properties of tussah silk

ZHANG Wei¹, ZHANG Juan², DONG Pengfei¹, CHAI Xiong³, LI Huijun¹

(1. College of Textiles and Clothing, Xinjiang University, Urumqi 830046, China; 2. Liaoning Provincial Key Laboratory of Ecological Textile, Dalian Polytechnic University, Dalian 116034, China; 3. Merchant Marine College, Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, China)

Abstract: The soft modification of tussah silk was made with Bipalm Carboxyethyl Hydroxyethyl Methyl Sulfate Ammonium Salt, and then the process condition was changed to tussah silk dyeing with direct fruit green LG. Under the best conditions, the softening and dyeing order of tussah silk was changed and the dyeing order was compared with the tussah silk dyed with sodium copper chlorophyllin, active red-BES and direct fruit green LG. The experimental results showed that the breaking strength of the tussah silk was reduced and the elongation at break increased; the K/S value, the red green value a^* , the yellow blue value b^* and the chromatic aberration DE^* increased with the increase of material ratio; the red and green value a^* and the yellow blue value b^* increased with the increase of the pH of dye solution; the K/S value decreased slowly with pH increase; the chromatic DE^* almost remained unchanged with pH. The K/S value of tussah silk was improved by soft modification, and the properties of tussah silk treated with the order of first softening and then dyeing were much higher than that of tussah silk treated with the order of first dyeing and then softening, but the soft modification did not improve the color fastness obviously.

Key words: tussah silk; softener; soft modification; tensile property; dyeing properties

作为一种古老的动物纤维,柞蚕丝具有良好的

保健性能^[1-2],吸湿性能强,且弹性较好。由于截面呈圆三角状,柞蚕丝承接了三棱镜模型原理,色泽光艳。然而,柞蚕丝手感比较粗硬,较少应用于高档纺织品^[3]。与桑蚕丝相比,柞蚕丝除含有大量丝素外,还有脂质、色素等,这为柞蚕丝的高档服用化蒙上阴影。目前研究者对柞蚕丝的柔软改性主要选用有机

收稿日期: 2018-06-04; 修回日期: 2018-10-27

基金项目: 辽宁省教育厅攻关项目(2016J003)

作者简介: 张炜(1990—)男,硕士研究生,研究方向为纺织化学与染整。通信作者: 李惠军,副教授, Lihuijun@xju.edu.cn。

硅柔软剂,但选用阳离子铵盐柔软剂对柞蚕丝柔软改性及改性后染色却鲜有见闻。本文利用双棕榈羧乙基羟乙基甲基硫酸甲酯铵盐对柞蚕丝进行柔软改性,分析了柔软剂对柞蚕丝拉伸性能和染色性能的影响。

1 实验

1.1 材料

118 dtex 柞蚕丝生丝(太原纺织有限公司),TEP-90(双棕榈羧乙基羟乙基甲基硫酸甲酯铵盐),纯度90% 柔软剂(山东优索化工科技有限公司),直接果绿 LG、活性红-BES、叶绿素铜钠、 NaHCO_3 、硫酸钠、 Na_2CO_3 、 NaOH 、冰醋酸、平平加 O、中性皂粉(市售)。

1.2 仪器

FA/JA 电子天平(上海方瑞仪器有限公司),TSG001-Color i5 电脑测色配色仪(泰仕特仪器(中国) 有限公司),SW-42A II 型耐洗牢度试验机(温州际高检测仪器有限公司),HH-4 数显恒温水浴锅(江苏省金坛市友联仪器研究所),CM-5 型摩擦色牢度测试仪(上海鼎徽仪器仪表设备有限公司),SW-8A 耐水洗色牢度仪(常州第一纺织设备有限公司),YG020A 型电子单纱强力机(常州科建纺织仪器有限公司),KH-35A 型电子烘箱(惠州市宏业仪器有限公司)。

1.3 柞蚕丝柔软工艺

将柞蚕丝用水清洗,在浴比为 1:30 的不同温度、不同物料比和不同时间条件下对柞蚕丝进行柔软改性,用质量浓度为 2 g/L、浴比 1:20 的中性皂液清洗 10 min,再将柞蚕丝水洗后烘干。

1.4 柞蚕丝的染色工艺

1.4.1 柞蚕丝直接染料染色工艺

先将柞蚕丝用水清洗,按浴比为 1:40 配制不同物料比的染液,在染液中加入 40 g/L 硫酸钠和 0.1 g/L 平平加 O,调节染液 pH 值至染色条件 40 ℃ 时上染柞蚕丝,10 min 时升温至染色温度,加入 4 g/L Na_2CO_3 后继续恒温染色一段时间后,用 2 g/L、浴比 1:30 的中性皂液清洗 10 min,再水洗后烘干。

1.4.2 柞蚕丝活性染料染色工艺

在物料比 2% 温度 70 ℃,pH8,浴比 1:40 的条件下,加入质量浓度为 5 g/L NaHCO_3 、40 g/L 硫酸钠和 0.5 g/L 平平加 O,按直接染料染色工艺流程对柞蚕丝染色 60 min。

1.4.3 柞蚕丝叶绿素铜钠染色工艺

设定染色温度 80 ℃,物料比 7%,pH8,浴比 1:30 的条件下,按直接染料染色工艺流程对柞蚕丝染色 60 min。

1.5 性能测试

1.5.1 柞蚕丝断裂强力和断裂伸长率测试

对原样和经柔软改性的柞蚕丝在单纱强力仪中测试其强力和伸长率,单组实验测试 5 次,取平均值。

1.5.2 柞蚕丝染色性能指标测试

柞蚕丝的染色性能指标包括红绿值 a^* (+ 为偏红,- 表示偏绿)、黄蓝值 b^* (+ 为偏黄,- 为偏蓝)、总色差 DE^* 值和色深 K/S 值,值越大表示色泽越好。柞蚕丝染色完成后,用测色配色仪测试。

1.5.3 柞蚕丝色牢度测试

将最佳工艺条件下染色后的柞蚕丝按照 GB/T 3921—2008《纺织品 色牢度试验 耐皂洗色牢度》在耐皂洗色牢度仪上测试其耐皂洗色牢度,按照 GB/T 3920—2008《纺织品 色牢度试验 耐摩擦色牢度》在摩擦色牢度仪上测试其耐摩擦色牢度,按照 GB/T 8426—1998《纺织品 色牢度试验 耐光色牢度:日光》测试其耐日晒色牢度。

2 结果与分析

2.1 柔软改性对柞蚕丝拉伸性能的影响

改变柞蚕丝柔软工艺的温度、物料比和时间条件,对柞蚕丝进行正交实验,结果如表 1 所示。

从表 1 得知,经柔软改性后的柞蚕丝断裂强力降低,但断裂伸长率增加;图 3(a) 为柞蚕丝 80 ℃、8% 和 40 min(编号 4) 条件下的外观,可以看出,经改性后的柞蚕丝变得顺滑和蓬松。这是因为在水溶液中柞蚕丝表面含有大量负电荷^[4],双棕榈羧乙基羟乙基甲基硫酸甲酯铵盐阳离子柔软剂带有正电荷,正负离子在纤维表面消解,使得柞蚕丝表面张力降低,摩擦系数降低^[5-6],强力降低而伸长率增大,纤维变得蓬松。此外,双棕榈羧乙基羟乙基甲基硫酸甲酯铵盐疏水性和亲水系兼具,柔软液中的烷链结构对柞蚕丝有着较大影响,同时棕榈羧脂类化合物有“美白”效果^[7],导致其拉伸性能和色彩有明显变化。工艺条件对柞蚕丝断裂强力和断裂伸长率的影响顺序均为物料比 > 温度 > 时间,因此,在工业生产时要注意对物料比和温度的控制。

表1 柞蚕丝柔软改性正交实验

Tab. 1 Orthogonal test for soft modification of tussah silk

编号	温度/ ℃	物料比/ %	时间/ min	断裂强力/ cN	断裂伸长率/ %
1	70	8	30	419.0	1.04
2	70	12	40	421.0	1.49
3	70	16	50	411.0	1.05
4	80	8	40	407.0	1.35
5	80	12	50	413.0	1.34
6	80	16	30	401.0	1.43
7	90	8	50	412.0	1.39
8	90	12	30	428.0	1.44
9	90	16	40	398.0	1.18
断裂强力/cN					
K_1	417.0	412.7	416.0		
K_2	407.0	420.7	408.6		
K_3	412.7	403.3	412.0		
极差 R	10.0	17.4	7.4		
断裂伸长率/%					
K_1	1.19	1.26	1.30		
K_2	1.37	1.42	1.34		
K_3	1.34	1.22	1.26		
极差 R	0.18	0.20	0.08		

注: 未经柔软的柞蚕丝原样断裂强力为 468.0 cN, 断裂伸长率为 0.98%。

2.2 柔软改性对柞蚕丝染色性能的影响

用直接染料 LG 配制等浓度梯度的染液, 在不同温度和 pH 值条件下对柔软改性后的柞蚕丝进行染色, 实验结果见表 2。

由表 2 可知, 经柔软改性染色后的柞蚕丝 K/S 值远高于未经柔软改性染色的柞蚕丝, 这是因为双棕榈羧乙基羟乙基甲基硫酸甲酯铵盐对柞蚕丝的染色效果具有双重作用。一方面, 双棕榈羧乙基羟乙基甲基硫酸甲酯铵盐产生的正离子降低了柞蚕丝表面的张力, 纤维间滑动性增加^[8], 纤维变得疏松, 这使直接染料有较大的空间在纤维内部分散; 另一方面柔软工艺中丝胶氨基酸分子和柔软剂中羧基等发生缩合反应稳定的结合于纤维表面形成改性体系, 在染色工艺中, 直接染料中的羧基又与纤维上添加的羟基等反应, 柔软剂阳离子与染料阴离子互相吸附, 这样就形成了双重的染色效果。

对于 K/S 值和红绿值 a^* 来说, 物料比的影响最大, 其次是 pH 值, 温度最小; 对于黄蓝值 b^* 和色差 DE^* 来说, pH 值对其影响最大, 物料比次之, 最后为温度。对物料比和 pH 值做单一实验, 了解柞蚕丝

K/S 值、红绿值 a^* 、黄蓝值 b^* 和色差 DE^* 的变化趋势。

表2 柔软改性柞蚕丝正交染色实验

Tab. 2 Orthogonal dyeing test of tussah silk treated with soft modification

编号	温度/ ℃	物料比/ %	pH 值	K/S 值	a^*	b^*	DE^*
1	60	2	5	15.15	-21.21	43.44	57.40
2	60	3	7	18.17	-3.96	56.40	60.87
3	60	4	9	18.91	7.22	65.76	65.65
4	80	2	7	15.99	-12.92	51.88	59.24
5	80	3	9	21.27	1.57	60.04	62.32
6	80	4	5	19.49	3.20	52.85	60.48
7	100	2	9	17.80	-7.34	64.76	64.13
8	100	3	5	16.57	-5.85	46.32	58.76
9	100	4	7	18.86	0.96	53.04	60.35
K/S 值							
K_1	17.41	16.31	17.07				
K_2	18.92	18.67	17.67				
K_3	17.74	19.09	19.33				
极差 R	1.51	2.78	2.26				
a^*							
K_1	-5.98	-13.82	-7.95				
K_2	-2.72	-2.75	-5.31				
K_3	-4.08	3.48	0.48				
极差 R	3.26	17.30	8.43				
b^*							
K_1	55.20	53.36	47.53				
K_2	54.92	54.25	53.77				
K_3	54.71	57.22	63.52				
极差 R	0.49	3.86	15.99				
DE^*							
K_1	61.31	60.26	58.88				
K_2	60.68	60.65	60.15				
K_3	61.08	62.16	64.03				
极差 R	0.63	1.90	5.15				

注: 未经柔软改性的柞蚕丝原样染色(温度 80℃、物料比 3% 和 pH5) 后 K/S 值为 12.16, a^* 为 -5.94, b^* 为 61.84, DE^* 为 49.38。

2.3 单因素变化实验

2.3.1 物料比对染色性能的影响

为达到 K/S 值较大, 色泽偏绿的效果, 综合表 2 来看温度 80℃、酸性条件和低浓度效果较好。用直接染料在染色温度 80℃ 和 pH5 的恒定条件下, 改变物料比对柔软改性后的柞蚕丝染色, 结果如图 1 所示。

由图 1 可知, 物料比增加, 柞蚕丝的 K/S 值、红绿值 a^* 、黄蓝值 b^* 和色差 DE^* 都在增大, 当物料比

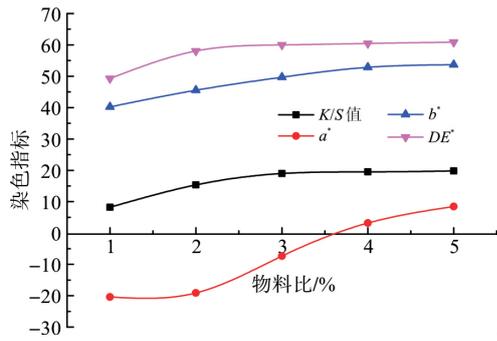


图 1 物料比对柞蚕丝染色性能的影响

Fig. 1 Influence of material ratio on the dyeing properties of tussah silk

超过 3% 后, K/S 值、黄蓝值 b^* 和色差 DE^* 趋于平缓, 基本不再增加; 红绿值 a^* 受物料比的影响很大, 物料比在 3.5% 之内偏绿, 在 3.5% 之后偏红。柞蚕丝和直接染料之间的配位主要依靠离子键吸附^[9-10], 同时柔软改性赋予柞蚕丝较多的离子键团, 使得柞蚕丝的染色指标提升。直接染料浓度增加, 染料分子中迅速在纤维表面占据键位, 染色性能提高, 当染料浓度继续增大后, 柞蚕丝纤维已没有空余的键位和染料形成结合, 柞蚕丝物料比在 3% 之后染色指标不再增加的宏观表现就是具体体现。要使染料保持它特有的绿色, 再从能源节省的角度出发, 物料比选择 3% 较为合适。

2.3.2 pH 值对染色性能的影响

在温度 80 °C 和物料比 3% 的恒定条件下, 只改变染液的 pH 值对柔软改性后的柞蚕丝进行染色, 结果如图 2 所示。

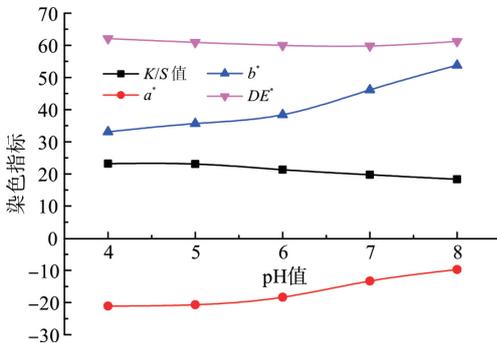


图 2 pH 值对柞蚕丝染色性能的影响

Fig. 2 pH influence on the dyeing properties of tussah silk

从图 2 可以看出, 黄蓝值 b^* 和红绿值 a^* 的色彩特性并没有改变, 黄蓝值 b^* 在偏黄范围内随染液 pH 值的增大而增加, 红绿值 a^* 在偏绿范围内随染液 pH 值的增大而增加; 染液 pH 值增大 K/S 值缓慢减小, 但色差 DE^* 几乎不变。蚕丝的等电点处于酸性条件, 即 pH 值在 3.8 ~ 5.2^[11-12]。在等电点内, 染料和

柞蚕丝纤维间主要依附离子键团和范德华力^[13], 使得染料与纤维牢固结合, 再加上柔软工艺对纤维产生的蓬松和键接, 纤维形成了有效的染色体系, 表现出 pH 值在 4 ~ 5 的条件下 K/S 值明显高于其他酸碱条件。随着染液 pH 值的增大, 柞蚕丝染色范围淡出等电点范围, 此时染料和纤维间的离子键结合逐渐减弱, 他们之间只是通过较弱的键接和共价键结合, 着色能力逐渐减弱。在染色时 pH 值会影响柞蚕丝拉伸性能, pH 值条件不易过强。综合来看, 温度 80 °C、物料比 3% 和 pH5 可作为柔软改性后柞蚕丝的最佳染色工艺条件。

2.4 最佳工艺条件下不同染料的染色性能

用叶绿素铜钠和活性红-BES 对柔软改性前后的柞蚕丝进行染色, 在温度 80 °C、物料比 3% 和 pH5 的工艺条件下, 用直接染料对柔软改性前后的柞蚕丝和原样进行染色。改变柔软工艺和染色工艺的前后顺序, 测试结果如表 3 和图 3 所示。

表 3 不同染料和工艺条件下的柞蚕丝染色指标

Tab. 3 Dyeing indexes of tussah silk under different dyestuffs and processing conditions

工艺条件	K/S 值	a*	b*	DE*	
未柔软原样	4.45	-8.56	34.38	30.08	
叶绿素铜钠	先柔软后染色	7.89	-17.75	21.30	41.96
	先染色后柔软	4.27	-9.83	26.68	24.70
	未柔软原样	9.68	31.53	-3.81	38.54
活性红-BES	先柔软后染色	18.34	53.55	-1.26	65.54
	先染色后柔软	9.78	35.40	-4.24	42.27
	未柔软原样	12.16	-5.94	61.84	49.38
直接果绿 LG	先柔软后染色	23.08	-20.69	35.65	60.94
	先染色后柔软	13.67	-3.32	63.28	55.07

从图 3(b ~ d) 可以直观地看出, 在相同的工艺条件下, 未经柔软改性的柞蚕丝原样直接染色和先经染色后柔软改性的柞蚕丝色深相似, 而先经柔软改性再染色的柞蚕丝色深远高于原样和先染色后柔软的柞蚕丝。表 3 间接反映了柞蚕丝染色后的染色性能, 叶绿素铜钠、活性红-BES 和直接果绿 LG 先柔软后染色 K/S 值、红绿值 a^* 、黄蓝值 b^* 和色差 DE^* 都高于原样和先染色后柔软的柞蚕丝, 同时直接染色原样的 K/S 值等染色指标和先染色后柔软的柞蚕丝接近。与柔软改性的柞蚕丝相比, 未经柔软改性的柞蚕丝其表面由丝胶、丝素和脂蜡等形成的保护效果^[14-16] 更明显, 有效阻碍了叶绿素铜钠中的镁卟啉化合物^[17]、活性染料中的重氮成分和直接染料中的磺酸基团^[18] 与柞蚕丝内部的结合, 色深降低。先

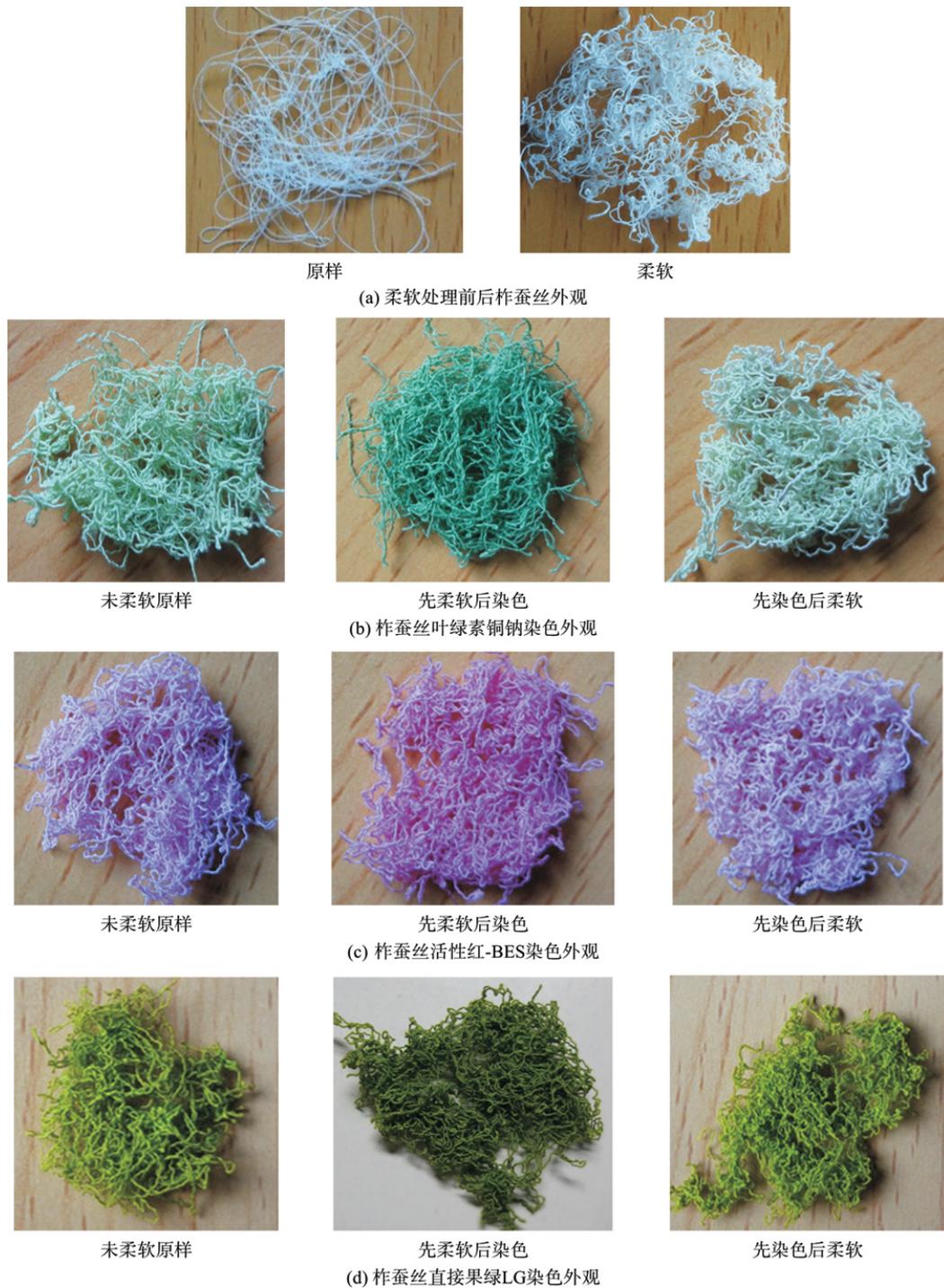


图 3 不同染料和工艺条件下的柞蚕丝外观

Fig. 3 Appearance of tussah silk under different dyestuffs and technological conditions

对柞蚕丝染色,染料与纤维形成稳定的结合,再对染色后的柞蚕丝柔软改性,柔软剂很难再将染料与纤维间的结合力进行破坏,只是对纤维间的摩擦力降低,使柞蚕丝变得松散,这就出现了先染色后柔软染色效果不佳的现象。柔软工艺和染色工艺顺序对柞蚕丝的染色性能有极大影响,为使染色效果提升,在

柞蚕丝的后整工序中应当先柔软再染色,可为工业生产提供借鉴。

2.5 最佳工艺条件下不同染料的色牢度

对经叶绿素铜钠、活性红-BES 和直接果绿 LG 三种染料染色后的柞蚕丝进行色牢度测试,结果如表 4 所示。

表 4 不同染料最佳工艺条件下的色牢度
Tab.4 Color fastness of different dyes under the best process conditions

工艺条件	皂洗色牢度/级			耐摩擦色牢度/级		耐日晒色牢度/级	
	棉沾色	毛沾色	变色	干摩	湿摩		
叶绿素铜钠	未柔软原样	4	4	4~5	2	2	1
	先柔软后染色	4	4~5	4~5	2~3	2	1~2
	先染色后柔软	4	4~5	4~5	2~3	2~3	1
活性红-BES	未柔软原样	4~5	5	4~5	4~5	4~5	4
	先柔软后染色	5	5	5	5	4~5	4
	先染色后柔软	5	5	4~5	4~5	4~5	4
直接果绿 LG	未柔软原样	4~5	4~5	4~5	4~5	4	4~5
	先柔软后染色	5	5	5	4	4	4
	先染色后柔软	5	4~5	4~5	5	4	4~5

从表 4 可知 经叶绿素铜钠、活性红-BES 和直接果绿 LG 三种染料染色的柞蚕丝 除叶绿素铜钠耐摩擦色牢度和耐日晒色牢度在 3 级以下外 三种染料的各项色牢度均在 4 级以上。叶绿素铜钠中的叶绿素 a 易受温热分解^[19-21] 导致柞蚕丝的耐日晒色牢度极差。改变柔软和染色工艺与顺序并不会对柞蚕丝的染色性能造成影响 与未经柔软染色的原样相比 柔软改性后柞蚕丝的色牢度有小幅度提升。柔软剂降低了柞蚕丝表面张力 增强了染料与纤维的结合力 固色能力增加 色牢度提升。

3 结 论

1) 经 TEP-90 表面改性剂改性后的柞蚕丝断裂强力减小 断裂伸长率增大 工艺条件对柞蚕丝断裂强力和断裂伸长率的影响顺序均为: 物料比 > 温度 > 时间。

2) 柔软改性能提高柞蚕丝的染色性能 随着物料比的增加 柞蚕丝的 K/S 值、红绿值 a^* 、黄蓝值 b^* 和色差 DE^* 都在增大; 红绿值 a^* 和黄蓝值 b^* 随染液 pH 值的增大而增加, K/S 值随 pH 值的增大而缓慢减小 但色差 DE^* 随 pH 值的增大几乎不变; 在温度 80 ℃、物料比 3% 和 pH5 的条件下 直接果绿 LG 上染柔软改性柞蚕丝的性能最佳。物料比和 pH 值对柞蚕丝的 K/S 值影响很大 在工业生产中注意对物料比和 pH 值的控制。

3) 直接果绿 LG 等三种染料柔软工艺和染色工艺顺序对柞蚕丝的染色性能有极大影响 先柔软后染色性能远高于先染色后柔软; 三种染料柔软改性后柞蚕丝的色牢度幅度提升不大 在对柞蚕丝改性和染色顺序选择时可忽略色牢度影响。

参考文献:

[1] 杨陈. 柞蚕丝结构性能分析[J]. 国际纺织导报, 2016, 44(4): 18-21.
YANG Chen. Analysis of structure properties of tussah silk [J]. Melland China, 2016, 44(4): 18-21.

[2] 刘颖, 曲广才. 柞蚕资源高值化利用研究的现状与展望[J]. 辽宁丝绸, 2018(1): 21-25.
LIU Ying, QU Guangcai. The current situation and prospect of addition value utilization of tussah resources [J]. Liaoning Tussah Silk, 2018(1): 21-25.

[3] 吴坚, 吕丽华, 徐建平. 柞蚕丝织物的柔软整理方法分析[J]. 大连工业大学学报, 2009, 28(3): 232-234.
WU Jian, LÜ Lihua, XU Jianping. Study on methods of softening tussah fabrics [J]. Journal of Dalian Polytechnic University, 2009, 28(3): 232-234.

[4] 马艳, 李智, 代方银, 等. 蚕丝及蚕丝织物的改性研究综述[J]. 蚕业科学, 2016, 42(6): 1106-1112.
MA Yan, LI Zhi, DAI Fangyin, et al. A review on modification of silk and silk fabrics [J]. Science of Sericulture, 2016, 42(6): 1106-1112.

[5] 董春芳. 织物用柔软整理剂的机理与应用研究[J]. 染整技术, 2010, 32(11): 23-25.
DONG Chunfang. Softening agent for fabrics [J]. Textile Dyeing and Finishing Journal, 2010, 32(11): 23-25.

[6] 罗胜利, 张宇群, 袁彬兰, 等. 柔软整理对织物疵裂性能的影响研究[J]. 质量技术监督研究, 2015(6): 2-5.
LUO Shengli, ZHANG Yuqun, YUAN Binlan, et al. Effects of soft finish on the stitch slipping performance of fabric [J]. Quality and Technical Supervision Research, 2015(6): 2-5.

[7] 傅挺进, 陈琴. 美白剂曲酸双棕榈酸酯的性质和制备[J]. 泸天化科技, 2016(1): 49-50.
FU Tingjin, CHEN Qin. Properties and preparation of whitening agent Kojic acid dipalmitate [J]. Lutianhua Science and Technology, 2016(1): 49-50.

[8] 段亚平, 姚继明. 柔软处理对靛蓝牛仔织物性能的影响[J]. 印染, 2018, 44(4): 20-25.

- DUAN Yaping, YAO Jiming. Effects of softening treatment on the properties of indigo denim fabric [J]. *Dyeing and Finishing*, 2018, 44(4): 20-25.
- [9] 陈玉梅, 蔡再生, 丁志用. 直接染料对雄蚕丝的染色性能 [J]. *染料与染色*, 2009, 46(6): 12-14.
- CHEN Yumei, CAI Zaisheng, DING Zhiyong. The dyeing properties of direct dyes for male silk [J]. *Dyestuffs and Coloration*, 2009, 46(6): 12-14.
- [10] 沈昕, 施文健, 尹晓航, 等. 季铵型阳离子纤维素吸附直接染料 [J]. *化学世界*, 2016, 57(10): 653-658.
- SHEN Xin, SHI Wenjian, YIN Xiaohang, et al. Application of quaternary ammonium type cationic cellulose as adsorbent for direct dye removal [J]. *Chemical World*, 2016, 57(10): 653-658.
- [11] 宋慧君, 丁立志, 曹珂珂. 蚕丝织物的紫胶色素染色研究 [J]. *染整技术*, 2017, 39(12): 18-22.
- SONG Huijun, DING Lizhi, CAO Keke. Research of lac pigment dyeing silk fabric [J]. *Textile Dyeing and Finishing Journal*, 2017, 39(12): 18-22.
- [12] 付承臣, 钟会娟. 蚕丝织物活性染料乙醇/水体系染色 [J]. *印染*, 2017, 43(24): 22-25.
- FU Chengchen, ZHONG Huijuan. Silk fabric dyeing with reactive dyes in ethanol/water medium [J]. *Dyeing and Finishing*, 2017, 43(24): 22-25.
- [13] KADHAR M A, GOPAL H, SUBASH V N. Comparison on dyeability of silk dyed with traditional and modern dyeing methods [J]. *Science of Sericulture*, 2017, 43(5): 877-884.
- [14] 杨莹莹, 吕智宁, 田伟, 等. 木薯蚕丝结构与性能表征 [J]. *纺织学报*, 2017, 38(6): 1-5.
- YANG Yingying, LÜ Zhining, TIAN Wei, et al. Structure and properties of cassava silk [J]. *Journal of Textile Research*, 2017, 38(6): 1-5.
- [15] 向天夏, 张富山, 孙晓丽, 等. 抗菌蚕丝水刺非织造布制造工艺及其性能研究 [J]. *产业用纺织品*, 2014, 32(1): 18-20.
- XIANG Tianxia, ZHANG Fushan, SUN Xiaoli, et al. Study on manufacturing process and properties of silk spunlaced nonwovens [J]. *Technical Textiles*, 2014, 32(1): 18-20.
- [16] 杨莹莹, 张旻爽, 田伟, 等. 天然木薯蚕丝脱胶工艺优化与性能分析 [J]. *现代纺织技术*, 2017, 25(5): 47-51.
- YANG Yingying, ZHANG Minshuang, TIAN Wei, et al. Optimization of degumming process of and performance analysis of natural cassava silk [J]. *Advanced Textile Technology*, 2017, 25(5): 47-51.
- [17] 马维健, 张洋, 虞在洋, 等. 水葫芦中叶绿素铜钠提取及其抗细胞氧化损伤作用研究 [J]. *现代生物医学进展*, 2016, 16(1): 45-49.
- MA Weijian, ZHANG Yang, YU Zaiyang, et al. Extraction of chlorophyllin sodium copper salt from water hyacinth and study of anti cell oxidative damage [J]. *Progress in Modern Biomedicine*, 2016, 16(1): 45-49.
- [18] 崔浩然. 反应性直接染料的应用性能 [J]. *印染*, 2011(22): 21-25.
- CUI Haoran. Practical performance of reactive direct dyes [J]. *Dyeing and Finishing*, 2011(22): 21-25.
- [19] 陈淑芳, 郭沛涌, 阮滨. 稳定性二氧化氯对水华微囊藻叶绿素 a 及酶活性的影响 [J]. *中南大学学报(自然科学版)*, 2016, 47(2): 414-419.
- CHEN Shufang, GUO Peiyong, RUAN Bin. Effects of stable chlorine dioxide on chlorophyll a and antioxidant enzymes of *Microcystis flos-aquae* [J]. *Journal of Central South University (Science and Technology)*, 2016, 47(2): 414-419.
- [20] 张琛, 孙丰婷, 胡舰, 等. 小麦苗叶绿素在食品加工因素中的稳定性分析 [J]. *食品研究与开发*, 2018, 39(5): 7-11.
- ZHANG Chen, SUN Fengting, HU Jian, et al. Analysis of the stability of wheat seedling chlorophyll in food processing [J]. *Food Research and Development*, 2018, 39(5): 7-11.
- [21] 王修东, 楼飞群, 贾天亮, 等. 叶绿素铜钠稳定性影响因素研究 [J]. *中国药业*, 2012, 21(14): 20-21.
- WANG Xiudong, LOU Feiqun, JIA Tianliang, et al. Study on influence factors of stability of sodium copper chlorophyll [J]. *China Pharmaceuticals*, 2012, 21(14): 20-21.