

# 桉木水煮液对羊毛和蚕丝上染效果的研究

何露茜, 刘晓娜, 刘春钰, 孔璐璐, 刘佳慧, 伊松林

(北京林业大学 木材科学与工程北京市重点实验室, 北京 100083)

**摘要:**桉木水煮液中含有的单宁可与羊毛和蚕丝织物中的蛋白质结合, 文中采用直接染色法与同浴媒染法, 将桉木水煮液作为染液对羊毛及蚕丝织物染色, 探究了桉木水煮时间及金属媒染剂 $\text{CuSO}_4$ 对染色性能的影响, 测试了染色后织物的颜色特征值、 $K/S$ 值和染色牢度。结果表明, 桉木水煮液最佳水煮时间为3 h; 同浴媒染染色时, 羊毛和蚕丝织物 $\text{CuSO}_4$ 最佳用量分别为4%和2%; 直接染色后羊毛、蚕丝织物具有较好的耐摩擦、耐皂洗、耐汗渍色牢度, 但耐光色牢度较差; 媒染染色可改变织物的色相, 提高各项染色牢度, 并显著提升织物的耐光色牢度。

**关键词:**桉木水煮液; 羊毛; 蚕丝; 直接染色; 同浴媒染染色; 颜色特征值;  $K/S$ 值; 色牢度

中图分类号: TS 193.5

文献标志码: A

文章编号: 1000-4033(2018)11-0073-05

## Effect of Eucalyptus Water Boiled Liquid on Dyeing of Wool and Silk Fabrics by

He Luxi, Liu Xiaona, Liu Chunyu, Kong Lulu, Liu Jiahui, Yi Songlin

(Beijing Key Laboratory of Wood Science and Engineering, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** The tannins contained in the eucalyptus water boiled liquid can be combined with the proteins in wool and silk fabrics. In this paper, using the direct dyeing method and the same bath mordant method to dye the wool and silk fabrics by the eucalyptus water boiled liquid. The effects of boiling time of eucalyptus and the amount of metal mordant  $\text{CuSO}_4$  on the dyeing performance were discussed. The color characteristic value,  $K/S$  value, and color fastness of dyed fabrics were also tested. The results show that the 3-hour boiled eucalyptus liquid can give better dyeing properties; when dyeing with one-bath mordant dyeing, the optimum dosage of  $\text{CuSO}_4$  in wool and silk fabric is 4% and 2% respectively; after direct dyeing, wool and silk fabrics have good resistance to rubbing, soaping and perspiration, but light fastness is poor and mordant dyeing can change the hue of the fabric, and improve each color fastness of the fabric significantly and the light fastness.

**Key words:** Eucalyptus Water Boiled Liquid; Wool; Silk; Direct Dyeing; One-bath Mordant Dyeing; Color Characteristic Value;  $K/S$  Value; Color Fastness

随着人们对健康生活的注重, 天然染料的研究应用逐渐成为新的发展趋势。虽然合成染料色彩明丽、价格低廉, 但部分合成染料含有致癌物质, 其产生的废水污染, 对人体健康和自然环境都有严重

危害<sup>[1-3]</sup>。相比之下, 天然染料来自动植物和矿物资源, 具有无毒害、无污染、低敏性、易降解的特点<sup>[4-5]</sup>。我国的桉树人工林面积居世界第3位, 对桉树木材的年消耗量巨大, 且桉木不易干燥, 干燥前常需进行

预处理, 以便后续干燥加工<sup>[6-8]</sup>。水煮处理是一种较好的预处理方式 (水煮处理是将木材放入 60~100℃的热水中, 水煮时间由木材厚度决定, 一般为 1~2 h/cm), 但这一过程产生的废液量巨大, 且通过现有

**基金项目:**北京林业大学“市级大学生创新创业训练计划”(S201710022051)。

**作者简介:**何露茜(1997—), 女, 本科生。主要从事木材热加工的研究。

**通讯作者:**伊松林(1970—), 男, 教授, 博士生导师。E-mail: ysonglin@bjfu.edu.cn。

技术很难处理,若直接排放,会造成土壤污染及水体污染<sup>[1,7-8]</sup>。桉树提取物中的单宁可与羊毛和蚕丝织物中的蛋白质结合,达到着色效果<sup>[9]</sup>。当使用金属盐作为媒染剂对织物进行媒染染色时(主要以  $\text{CuSO}_4$  作为媒染剂),可使得天然染料-金属-织物之间形成稳定的螯合物,从而获得良好的染色效果<sup>[9-12]</sup>。因此,将桉木水煮液作为染液既在工业生产尾端实现了持续利用,又避免了环境污染;且桉木水煮液与其他天然染料相比减少了对染料的提取阶段,节约了资源<sup>[1]</sup>。桉木水煮液呈棕褐色,染色后织物颜色倾向于黄色系,黄色为常用织物颜色<sup>[13-14]</sup>。

目前,国内以桉木水煮液作为染液对织物染色的研究极少。国外以桉木气蒸废液作为染料对棉、锦纶以及羊毛织物等进行染色做出了部分研究,同时对直接染色的织物染色性能做出了评价(耐汗渍色牢度的评价较少),并对桉木水煮液成分进行了检测,表明桉树提取液中含有天然的单宁酸和多酚,含量在 10%~12%,这种提取物是包含鞣花酸、槲皮素、芦丁等多种成分的混合物<sup>[1,9-10,13-15]</sup>。提取物中单宁酸可与羊毛和蚕丝织物中的蛋白质结合,达到染色效果。本研究探讨了桉木水煮液作为染料对羊毛及蚕丝织物染色性能,验证桉木水煮液作为染液的可行性。探讨了桉木水煮时间对羊毛和蚕丝织物的染色效果及桉木水煮液的最佳水煮时间。因大多数天然染料对纤维没有直接性或直接性较小,染色后织物的染色牢度不太好,须借助媒染剂加固着色<sup>[13]</sup>,文中利用  $\text{CuSO}_4$  作为媒染剂对羊毛和蚕丝织物进行媒染,探讨了媒染剂用量对织物染色性能的影响,并对比直接

染色和媒染染色的染色效果,得出桉木水煮液对羊毛和蚕丝织物的最佳染色方法以及工艺条件。

## 1 试验

### 1.1 试验材料及仪器

织物:蚕丝织物、羊毛织物。

试剂:蒸馏水、 $\text{CuSO}_4$ 。

仪器与设备:DK-98-II A 电热恒温水浴锅(天津市泰斯特仪器有限公司),SHZ-III 循环水真空泵(上海知信试验仪器技术有限公司),电热恒温鼓风干燥箱(上海一恒科学仪器有限公司),数显水浴恒温振荡器(中国江苏金坛市荣华仪器制造有限公司),Datacolor 500 计算机测色配色仪(美国 Datacolor 公司),Y571A 染色摩擦牢度试验仪(浙江温州纺织仪器厂),MX-A1004 耐水洗色牢度测试仪(东莞市默欣电子科技有限公司),Q-Sun 日晒及气候色牢度试验机(美国 Q-Panel 公司),YG631 型汗渍色牢度仪(武汉国量仪器有限公司)。

### 1.2 染料提取

取 30 块的桉木木块(气干木块),规格为 20 mm×20 mm×20 mm,加入至盛有 400 mL 蒸馏水的烧杯中。将其放入温度为 98 ℃的恒温水浴锅内(水煮木块时为防止水分过量蒸发,将烧杯口覆上保鲜膜)。取出水煮废液冷却至室温,对其进行抽滤,收集滤液。

### 1.3 染色方法

#### 1.3.1 直接染色法

工艺流程:织物直接染色→水洗→晾干。

染色条件<sup>[1-3,9]</sup>:

|    |        |
|----|--------|
| 浴比 | 1:50   |
| 温度 | 60 ℃   |
| 时间 | 60 min |

#### 1.3.2 同浴媒染法

工艺流程:媒染、染色同浴处理→水洗→晾干。

染色配方及条件<sup>[1,12]</sup>:

|                     |        |
|---------------------|--------|
| 媒染剂 $\text{CuSO}_4$ | 1%~8%  |
| 浴比                  | 1:50   |
| 温度                  | 60 ℃   |
| 时间                  | 60 min |

染液配制:按照染色配方,取一定量的媒染剂  $\text{CuSO}_4$  加入至盛有桉木水煮液的烧杯中,搅拌均匀,制成染液待用。

### 1.4 测试方法

#### 1.4.1 颜色特征值及 K/S 值

采用 Datacolor 500 计算机测色配色仪,测试染色真丝织物的  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  值及 K/S 值。

#### 1.4.2 染色织物色牢度

##### a. 耐摩擦色牢度

参照 GB/T 3920—2008《纺织品 色牢度试验 耐摩擦色牢度》方法,分别测定染色织物的耐干、湿摩擦色牢度,用灰色样卡对摩擦布的沾色牢度进行评级。

##### b. 耐皂洗色牢度

参照 GB/T 3921—2008《纺织品 色牢度试验 耐皂洗色牢度》方法,用灰色样卡评定试样的变色和贴衬织物的沾色牢度。

##### c. 耐光色牢度

参照 GB/T 8426—1998《纺织品 色牢度试验 耐光色牢度》方法,用灰色样卡或测色设备比较样品暴露部分与未暴露部分来评估样品的色牢度情况。

##### d. 耐汗渍色牢度

参照 GB/T 3922—2013《纺织品 色牢度测试 耐汗渍色牢度》方法,用灰色样卡评定试样的变色和贴衬织物的沾色牢度。

## 2 结果与讨论

### 2.1 桉木水煮时间对织物染色性能的影响

#### 2.1.1 颜色特征值

探讨桉木水煮时间对羊毛及蚕丝织物直接染色法染色颜色特

征值的影响,结果如表 1 所示。

由表 1 可知,在不同水煮时间下得到的桉木水煮液进行直接染色时,随着水煮时间的不同,桉木水煮液中的色素浓度不同,对羊毛和蚕丝织物的染色效果产生影响。桉木水煮液染色织物大致呈浅棕色至深棕色,所测得的  $a^*$ 、 $b^*$  值均为正值,它们的色度点在色度空间中偏向红色区域与黄色区域。对于两种织物而言,随着水煮时间的增加,废液的颜色加深,上染至织物上的染液量增多,其明度整体上也随之降低。同时,在两类织物的上染结果中,随着水煮时间的增加, $a^*$  值在整体的变化上皆呈现增长趋势,羊毛织物上染之后的  $b^*$  值略有增大,而蚕丝织物的  $b^*$  值明显比上染之前增大,这表示染液浓度的加深使得它们色度点更加倾向于红、黄区域。

### 2.1.2 K/S 值

探讨桉木水煮时间对羊毛及蚕丝织物 K/S 值的影响,如图 1 所示。

由图 1 可知,随着桉木水煮时间的增加,染色织物的颜色逐渐加深,K/S 值增加。当桉木水煮时间小于 3 h 时,羊毛和蚕丝织物的 K/S 值随着水煮时间的增加而增加,织物色深明显加深;当桉木水煮时间大于 3 h 时,随着水煮时间的增加,K/S 值缓慢增加并逐渐趋于稳定。综合对桉木实际工业干燥预处理过程中处理时间与板材厚度的关系以及水热处理条件成本的考虑,选用时间为 3 h 的水煮废液作为染液的最佳条件。

## 2.2 桉木水煮液对织物同浴媒染的染色性能

### 2.2.1 媒染剂用量对织物颜色特征值的影响

按照 1.3.2 染色条件对羊毛和

表 1 不同桉木水煮时间对羊毛和蚕丝织物颜色特征值的影响

| 织物种类 | 水煮时间/h | $L^*$ | $a^*$ | $b^*$ |
|------|--------|-------|-------|-------|
| 羊毛织物 | 0      | 86.60 | 1.79  | 20.19 |
|      | 1      | 67.89 | 6.26  | 20.24 |
|      | 2      | 67.53 | 6.58  | 20.29 |
|      | 3      | 65.22 | 6.69  | 20.92 |
|      | 4      | 65.47 | 7.17  | 21.51 |
|      | 5      | 63.71 | 7.48  | 21.62 |
| 蚕丝织物 | 0      | 92.75 | 0.47  | 5.28  |
|      | 1      | 78.53 | 5.40  | 17.41 |
|      | 2      | 75.41 | 5.32  | 17.63 |
|      | 3      | 74.45 | 4.82  | 17.55 |
|      | 4      | 74.54 | 5.87  | 18.81 |
|      | 5      | 71.83 | 6.11  | 19.04 |

注:水煮时间为 0 表示未经处理的织物。

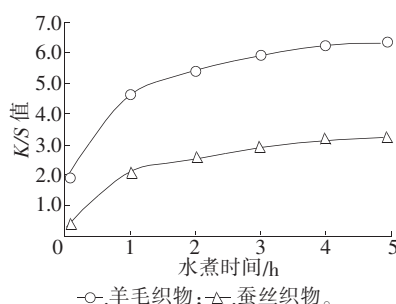


图 1 桉木水煮时间对羊毛和蚕丝织物 K/S 值的影响

蚕丝织物进行同浴媒染染色,探讨不同用量  $\text{CuSO}_4$  对羊毛织物与蚕丝织物颜色特征值的影响,如表 2 所示。

由表 2 可知,使用  $\text{CuSO}_4$  作为媒染剂处理后,由于引入了金属离子,织物与染料的结合能力增强,且金属离子本身对织物有一定上染效果,因此,同浴媒染染色后织物的色相与直接染色织物有所差别<sup>[11,16]</sup>。使用不同浓度的媒染剂染色后,织物所呈现色相也有区别。且媒染剂用量的增加使羊毛的  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$  值整体皆呈下降趋势,羊毛织物整体的明度减小,织物表现红、黄偏向减弱,这可能是由于同浴中的媒染剂与染料形成了难溶性色淀造成的。

而对于蚕丝织物而言,媒染剂

用量的变化使  $L^*$ 、 $a^*$  值略有减小,蚕丝织物的明度减小,红色偏向减弱。

### 2.2.2 媒染剂用量对织物 K/S 值的影响

按照 1.3.2 染色条件对羊毛和蚕丝织物进行同浴媒染染色,探讨媒染剂  $\text{CuSO}_4$  用量对羊毛和蚕丝织物的 K/S 值的影响,结果如图 2 所示。

由图 2 可知,使用同浴媒染法对羊毛织物进行染色时,当媒染剂  $\text{CuSO}_4$  用量在 4% 以下时,随着媒染剂浓度的增加,与织物结合的媒染剂随之增加,上染至织物上的染料量也增加,羊毛织物的 K/S 值随着媒染剂浓度的增大而增大<sup>[16-19]</sup>。当继续增大媒染剂的用量时,与羊毛纤维结合的媒染剂逐渐达到饱和状态,吸附与解吸趋于动态平衡,金属离子在染料和织物间络合促进了染料的上染,织物上的染料量也接近饱和,因此,染色织物的 K/S 值变化趋于平缓<sup>[16-19]</sup>。当媒染剂的用量进一步增大后,溶液中过剩的金属离子将与纤维结合的染料重新络合,导致染料从纤维上脱落,上染率降低,K/S 值下降<sup>[17-20]</sup>。因此,媒染剂  $\text{CuSO}_4$  的用量为 4%

表 2 CuSO<sub>4</sub> 用量对羊毛和蚕丝织物颜色特征值的影响

| 织物种类 | CuSO <sub>4</sub> 用量/% | L*    | a*   | b*    |
|------|------------------------|-------|------|-------|
| 羊毛织物 | 0                      | 65.22 | 6.69 | 20.92 |
|      | 1                      | 64.14 | 4.98 | 20.58 |
|      | 2                      | 64.06 | 3.78 | 20.07 |
|      | 4                      | 63.92 | 3.55 | 19.87 |
|      | 6                      | 63.73 | 3.48 | 19.13 |
|      | 8                      | 63.38 | 3.35 | 19.00 |
| 蚕丝织物 | 0                      | 74.45 | 4.82 | 17.55 |
|      | 1                      | 69.22 | 4.63 | 17.65 |
|      | 2                      | 68.78 | 4.25 | 17.97 |
|      | 4                      | 68.63 | 3.75 | 17.87 |
|      | 6                      | 68.43 | 3.48 | 18.13 |
|      | 8                      | 68.20 | 3.35 | 17.89 |

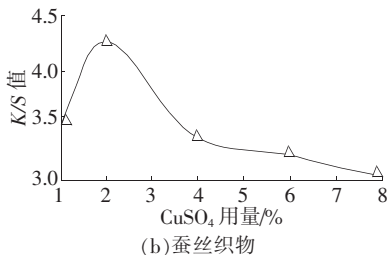
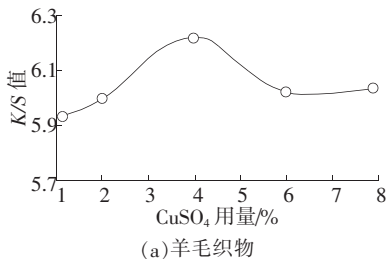


图 2 CuSO<sub>4</sub> 用量对羊毛、蚕丝织物 K/S 值的影响

最佳。

而蚕丝织物在使用同浴媒染法染色时,织物的着色量随媒染剂 CuSO<sub>4</sub> 用量的增大先缓慢提高,之后下降。在媒染剂 CuSO<sub>4</sub> 用量为 2%时,蚕丝织物的着色量达到最高点,因此,蚕丝织物媒染染色时,选择媒染剂 CuSO<sub>4</sub> 最佳用量应为 2%。

## 2.3 直接染色与同浴媒染对织物染色牢度的影响

### 2.3.1 羊毛织物色牢度

参照 1.4 染色工艺条件利用桉木水煮液对羊毛织物染色,对比直接染色与同浴媒染染色对羊毛织物的染色牢度,结果如表 3 所示。

由表 3 可知,当使用桉木水煮液对羊毛织物进行染色时,未经媒

染处理的羊毛织物耐摩擦色牢度、耐皂洗色牢度和耐汗渍色牢度较好,但耐光色牢度不佳。而使用 CuSO<sub>4</sub> 作为媒染剂对羊毛织物进行同浴媒染染色后,织物的各项色牢度较直接染色后有所提高。尤其对耐光色牢度的提高十分明显,在直接染色时,羊毛织物的耐光色牢度仅为 2 级,在使用 CuSO<sub>4</sub> 媒染剂之后,耐光色牢度等级提升至 4~5 级,可满足使用要求。

### 2.3.2 蚕丝织物染色牢度

参照 1.4 染色工艺条件利用桉木水煮液对蚕丝织物染色,对比直接染色与同浴媒染染色对蚕丝织物的染色牢度,结果如表 4 所示。

由表 4 可知,未用媒染剂 CuSO<sub>4</sub> 处理的蚕丝织物耐摩擦色牢度、耐皂洗色牢度以及耐碱汗渍色牢度等级均可达到 4 级及以上,且蚕丝织物的耐酸汗渍色牢度也较好,但其耐光色牢度不佳。媒染剂 CuSO<sub>4</sub> 可显著提升蚕丝织物的耐光色牢度,在直接染色时,其耐光色牢度仅为 3 级,而使用同浴媒染法染色后,耐光色牢度等级达到 6~7 级,可满足使用要求。在使用媒染剂 CuSO<sub>4</sub> 染色后,织物的各项色牢度等级均有所提升。这是因为媒染剂可以与染料中的单宁、黄酮类化

表 3 直接染色与同浴媒染染色下羊毛织物的染色牢度

| 染色方法   | 耐光色牢度/级 | 耐摩擦色牢度/级 |     | 耐皂洗色牢度/级 |    |     | 耐酸汗渍牢度/级 |    |     | 耐碱汗渍牢度/级 |     |     |
|--------|---------|----------|-----|----------|----|-----|----------|----|-----|----------|-----|-----|
|        |         | 干摩       | 湿摩  | 棉沾       | 毛沾 | 变色  | 棉沾       | 毛沾 | 变色  | 棉沾       | 毛沾  | 变色  |
| 直接染色   | 2       | 3~4      | 4   | 4~5      | 5  | 3~4 | 3        | 4  | 3   | 3        | 3~4 | 3~4 |
| 同浴媒染染色 | 4~5     | 4~5      | 4~5 | 4~5      | 5  | 4~5 | 4        | 4  | 3~4 | 4~5      | 4   | 4   |

注:同浴媒染法染色 CuSO<sub>4</sub> 用量为 4%。

表 4 直接染色与同浴媒染染色下羊毛织物的染色牢度

| 染色方法   | 耐光色牢度/级 | 耐摩擦色牢度/级 |     | 耐皂洗色牢度/级 |     |     | 耐酸汗渍牢度/级 |     |     | 耐碱汗渍牢度/级 |     |     |
|--------|---------|----------|-----|----------|-----|-----|----------|-----|-----|----------|-----|-----|
|        |         | 干摩       | 湿摩  | 棉沾       | 毛沾  | 变色  | 棉沾       | 毛沾  | 变色  | 棉沾       | 毛沾  | 变色  |
| 直接染色   | 3       | 4~5      | 4   | 5        | 4~5 | 4~5 | 3        | 3~4 | 3~4 | 3~4      | 4   | 4~5 |
| 同浴媒染染色 | 6~7     | 4~5      | 4~5 | 5        | 4~5 | 4~5 | 3~4      | 4~5 | 4~5 | 4        | 4~5 | 4~5 |

注:同浴媒染法染色 CuSO<sub>4</sub> 用量为 2%。

合物以及纤维中的蛋白质等物质发生反应,真丝经单宁酸和金属离子处理后,其内部结构不会发生本质改变,金属离子与单宁酸、纤维之间可能以配位键形式形成稳定的三元或多元络合物,从而提高织物的染色牢度<sup>[12-13,20-22]</sup>。

### 3 结论

3.1 针对桉木水煮时间,考虑较佳的染色效果与较低成本,选用3 h 水煮时间较好。但随着时间增加,染色织物颜色持续加深,具体水煮时间可根据所需颜色决定。

3.2 采用桉木水煮液对羊毛与蚕丝织物进行直接染色时,染色织物能获得良好的耐摩擦色牢度、耐皂洗牢度与耐汗渍色牢度,但耐光色牢度效果不佳。

3.3 以CuSO<sub>4</sub>作为媒染剂进行同浴媒染法对羊行和蚕丝织物进行染色,由于金属离子的加入,提高了羊毛和蚕丝织物的K/S值和各项色牢度尤其是耐光色牢度。

3.4 随着媒染剂用量的变化,桉木水煮液对羊毛和蚕丝织物的染色效果也发生变化。其较佳的媒染染色工艺如下:浴比为1:50,60℃同浴媒染60 min条件下,对于羊毛织物,CuSO<sub>4</sub>适合用量为4%;对于蚕丝织物,CuSO<sub>4</sub>适合用量为2%,在该媒染剂浓度下,羊毛及蚕丝织物能获得较佳的染色性能。

3.5 桉木水煮液是桉木干燥预处理过程中产生的废液,作为染液再次利用可提高资源回用、节约能源、减少环境污染等作用,具有较好的开发前景。

### 参考文献

[1] ROSI T, SILVA P M S, MOURA F D, et al. Waste from eucalyptus wood steaming as a natural dye source for textile fibers[J]. Journal of Cleaner Production, 2017, 143(1): 303-310.

[2] BALIARSINGH S, JENA J, DAS T, et al. Role of cationic and anionic surfactants in textile dyeing with natural dyes extracted from waste plant materials and their potential antimicrobial properties[J]. Industrial Crops & Products, 2013, 50(50): 618-624.

[3] MIRJALILI M, NAZARPOOR K, KARIMI L. Eco-friendly dyeing of wool using natural dye from weld as co-partner with synthetic dye[J]. Journal of Cleaner Production, 2011, 19(9): 1045-1051.

[4] BECHTOLD T, MAHMUD-ALI A, MUSSAK R. Natural dyes for textile dyeing: a comparison of methods to assess the quality of canadian golden rod plant material[J]. Dyes & Pigments, 2007, 75(2): 287-293.

[5] BECHTOLD T, TURCANU A, GANGLBERGER E E, et al. Natural dyes in modern textile dyehouses—how to combine experiences of two centuries to meet the demands of the future[J]. Journal of Cleaner Production, 2003, 11(5): 499-509.

[6] 杨文斌, 郑丽霞. 蒸煮预处理对桉树木材干燥特性的影响[C]//中国林学会木材科学分会第十二次学术研讨会论文集. 福州: 中国林学会木材科学分会第十二次学术研讨, 2010: 173-177.

[7] 李恒, 徐熠雯, 赵紫剑, 等. 超声波和汽蒸预处理对桉木干燥速率的影响[J]. 木材工业, 2018(1): 44-47.

[8] 王文涛, 吴子良, 莫丽华, 等. 一种桉木消减干燥缺陷及阻燃处理方法: 中国, 201310084179.9[P]. 2013-03-15.

[9] MONGKHOLRATTANASIT R, KRYSTUFEK J, WIENER J, et al. Properties of wool and cotton fabrics dyed with eucalyptus, tannin and flavonoids[J]. Fibres & Textiles in Eastern Europe, 2011, 85(2): 90-95.

[10] 钱丰磊. 一枝黄花染料的提取及染色工艺研究[D]. 上海: 东华大学, 2010.

[11] 唐孝明, 张淑云, 叶皓华, 等. 单宁酸及金属离子后处理对真丝织物性能

影响[J]. 针织工业, 2012(10): 31-35.

[12] 张林龙, 张伟. 落葵浆果天然染料提取及对羊毛织物的染色性能[J]. 毛纺科技, 2015, 43(4): 45-48.

[13] ROSSI T, ARAUJO M C, BRITO J O. Wash fastness of textile fibers dyed with natural dye from eucalyptus wood steaming waste [C]//World Academy of Science, Engineering and Technology Industrial and Manufacturing Engineering-Icece 2015. International Conference on Environmental and Chemical Engineering, 2015: 1.

[14] ZHOU Y, ZHANG J, TANG R C, et al. Simultaneous dyeing and functionalization of silk with three natural yellow dyes[J]. Industrial Crops & Products, 2015, 64(1): 224-232.

[15] ALI S, NISAR N, HUSSAIN T. Dyeing properties of natural dyes extracted from eucalyptus[J]. Journal of the Textile Institute Proceedings & Abstracts, 2007, 98(6): 559-562.

[16] 张林龙. 天然染料大黄对羊毛织物的染色工艺[J]. 毛纺科技, 2011, 39(12): 16-20.

[17] 戴桦根, 董杰, 夏建明. 牛奶蛋白针织物的五倍子天然染料染色[J]. 印染, 2010, 36(9): 19-22.

[18] 胡少刚, 周奥佳, 阎克路. 牡丹花天然植物染料对羊毛织物染色性能的研究[J]. 染料与染色, 2009, 46(1): 26-30.

[19] 董超萍, 董杰, 夏建明. 珍珠纤维织物的核桃皮天然植物染料染色[J]. 印染, 2011(8): 26-28.

[20] 胡少刚. 天然植物染料在蛋白质纤维织物上的染色性研究[D]. 上海: 东华大学, 2008.

[21] 姜清香, 师严明, 李维贤, 等. 植物单宁染液的制备方法及其在真丝织物染色方面的应用: 中国, 201110160552.5[P]. 2012-01-18.

[22] 李华. 单宁染料纤维的染色机理及其应用研究[D]. 山西: 山西大学, 2010.

收稿日期 2018年5月2日