

叶绿素铜钠对亚麻纤维的染色性能研究



WANG Li-juan

王立娟, 冯昊, 李坚

(东北林业大学生物材料科学与技术教育部重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150040)

摘 要: 以早柳落叶为原料, 质量分数 95% 乙醇为溶剂, 用超声波法提取其中的叶绿素, 再经皂化、铜代制得叶绿素铜钠。经紫外-可见光谱分析, 确定了最大吸收峰和消光比值, 消光比值为 3.80, 符合国家标准 GB 3262-1982。利用其对亚麻布进行染色, 考察了各因素对亚麻布上染效果的影响, 用上染率及颜色特征值(白度、 L^* 、 a^* 、 b^* 值)等综合指标分析, 选出最佳染色条件, 即叶绿素铜钠溶液质量浓度为 1 g/L, 促染剂用量为 60 g/L, 浴比 1:20(g:mL), 染色温度 98 °C, 染色时间为 50 min。测试了经叶绿素铜钠染色亚麻布的水洗牢度、摩擦牢度和日晒牢度。结果表明: 摩擦牢度良好, 水洗牢度较好, 日晒牢度较差。红外光谱(FT-IR)分析了染料、白布及染色布, 探讨叶绿素铜钠染料与亚麻纤维的相互作用。采用扫描电镜(SEM)观察染前染后布的表面形貌。结果表明, 叶绿素铜钠染料与亚麻纤维之间存在少量的氢键作用, 同时叶绿素铜钠在亚麻纤维内分散性好、分布均匀。

关键词: 叶绿素铜钠; 染色条件; 色牢度

中图分类号: TQ91

文献标识码: A

文章编号: 0253-2417(2007)S0-0041-06

Study on Dyeing Properties of Sodium Copper Chlorophyll on Flax Fiber

WANG Li-juan, FENG Hao, LI Jian

(Key Laboratory of Bio-based Material Science and Technology, Northeast forestry University,
Ministry of Education, Harbin 150040, China)

Abstract: Chlorophyll was extracted from willow leaves by ultrasound-assisted extraction method in which 95% EtOH was used as solvent. Sodium copper chlorophyll was prepared by the processes of saponification and copper substitution. Maximum absorption and the ratio of absorbance were obtained by ultraviolet-visible spectrum analysis. The ratio of absorbance is 3.83 which indicates that the quality of sodium copper chlorophyll prepared can come up to the standard of GB 3262-1982. Sodium copper chlorophyll was used to dye flax fabric. In the tests, dyeing rate and color characteristic value(whiteness, L^* , a^* and b^* values) were used as analysis indexes and the effects of concentration of each factor on dyeing results were discussed to obtain optimum process conditions as follows: mass concentration of dye solution 1 g/L, concentration of accelerating agent 60 g/L, bath ratio 1:20(g:mL), dyeing under the temperature of 98 °C for 50 min. Finally, the colorfastness of the flax fabric dyed under the best conditions, such as wash fastness, rubbing fastness and light fastness were tested. The results show that rubbing fastness is superior and wash fastness is good, however, light fastness is inferior. Dye, blank and dyed flax fabric were analyzed by FT-IR method to investigate the interaction between sodium copper chlorophyll and flax fiber. Surface appearances of blank and dyed samples were observed by SEM. The results indicate that there exist a few hydrogen bonds between sodium copper chlorophyll and flax fiber and that sodium copper chlorophyll disperses among fibers uniformly.

Key words: sodium copper chlorophyll; dyeing conditions; colorfastness

叶绿素是自然界中分布最为广泛的植物色素, 但由于其稳定性差, 使其应用具有一定的局限性。由叶绿素衍生得到的叶绿素铜钠, 稳定性高, 水溶性好, 是一种保肝的药物, 也是一种颜色鲜绿的色素^[1-2]。近年来, 研究发现一些以合成染料加工的纺织品对人体的安全健康和人类环境产生严重的危害和破坏。而从植物中提取出来的天然色素无毒无害, 属于真正的绿色环保产品, 且具有多方面的医疗

收稿日期: 2007-05-25

作者简介: 王立娟(1971-), 女, 黑龙江大庆人, 副教授, 博士, 主要从事植物有效成分的提取及应用研究;

E-mail: donglinwj@163.com。

保健功效。经植物色素印染后的织物, 色彩自然, 光亮艳丽, 经久不褪; 部分的天然色素还具有防虫、杀菌的作用, 内衣、童装、毛巾、餐桌布及床上用品等尤为需要。这正迎合了现代人回归大自然、保健强身的消费心理。目前, 天然色素染色的研究报道了一些, 如利用黄连素^[3-4]、茜草色素^[5-6]、靛蓝^[7-8]、紫胶^[9]、槐米色素^[10]和黄芩色素^[11]等对毛及丝的染色, 而天然色素染棉、麻等纤维素纤维的研究相对较少。作者利用林业废弃物——旱柳树秋天落叶为原料, 提取叶绿素并衍生制备叶绿素铜钠, 研究其对亚麻织物的染色性能。

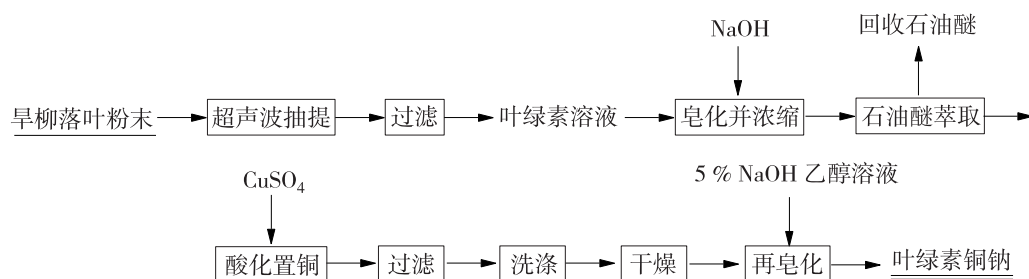
1 实验部分

1.1 原料、试剂与仪器

原料: 2005年11月收集于东北林业大学校园的旱柳(*Salix matsudana* Koidz.)落叶, 洗净, 阴干, 粉碎至粒径为0.18~0.25 mm; 亚麻布: 哈尔滨亚麻厂生产的漂白亚麻布; 试剂: 无水乙醇、丙酮、石油醚、硫酸铜、氢氧化钠等, 均为分析纯; 仪器: 旋转蒸发器、恒温水浴锅、微型粉碎机、分析天平、循环水真空泵、pH计、紫外可见分光光度计、超声波植物细胞粉碎仪、YQ-Z-48A型白度颜色测定仪、MAGNA-IR560型傅立叶红外光谱仪和QUATA200扫描电子显微镜。

1.2 叶绿素铜钠的制备方法

叶绿素铜钠的制备流程如下:



1.3 染色方法

用蒸馏水配制不同质量浓度的染液, 在已知质量浓度的染液中加入促染剂氯化钠, 按照一定的浴比(g:mL)进行染色。将染液放入烧杯中, 在水浴中加热至一定温度, 再将亚麻布放入烧杯中染色, 保温一定时间后取出, 水洗, 再将其放入温度为100℃的1 g/L的洗涤剂溶液中洗涤5 s后立即取出, 水洗, 晾干。将染后残液放置冷却, 用蒸馏水将其定容至染前溶液体积, 取1 mL溶液将其稀释, 在630 nm的波长下, 测染后残液的吸光度值(A), 计算上染率(Y)如下式:

$$Y = (1 - nA/mA_0) \times 100\%$$

式中: m 、 n —染色前、后染液稀释的倍数; A_0 、 A —染色前、后染液稀释 m 、 n 倍后的吸光度。

1.4 颜色特征值的测定

用YQ-Z-48A型白度颜色测定仪, 测定白度、颜色的明度(L^*)、色品指数(a^* 、 b^*)值。白度的值越大, 表明颜色越浅。

CIE1976、 $L^* a^* b^*$ 三维色空间体系由直角坐标系 L^* 、 a^* 、 b^* 构成。每个坐标轴表示一个对立的颜色概念, L^* (明度)轴表示颜色的明度(白-黑), 色品指数 a^* (红-绿)轴和 b^* (黄-蓝)轴组成的平面表示颜色的彩度和色调。测定染后布正反两面各4个点的颜色特征值, 再取其平均值。

1.5 染色牢度的测定

1.5.1 水洗牢度 将染后的布截下一小段, 余下部分在95℃, 1 g/L的洗涤剂中洗涤15 min。用清水洗净, 自然晾干, 将两者进行对比。

1.5.2 摩擦牢度及日晒牢度 按照实际生产中测试方法(GB 18401-2003)测试染后布的湿摩擦和干摩擦牢度。试验时按照规定条件将白布和试样摩擦, 按照原样褪色和白布沾色情况分别和褪色、沾色灰色样卡比较而评定等级。利用美国产的耐光照牢度仪, 按照实际生产中测试方法光照20 h, 测试日晒牢度。

1.6 波谱分析和形貌观察

波谱分析在 TU-1900 型紫外-可见分光光度计和 MAGNA-IR560 型傅立叶红外光谱仪上进行,形貌观察在 QUATA200 扫描电子显微镜上进行。

2 结果与讨论

2.1 叶绿素铜钠成品分析

取一定量样品,用蒸馏水配制 0.1 和 1 g/L 两种质量浓度的溶液,以蒸馏水为空白,在 300 ~ 800 nm 波长内扫描,结果见图 1。所制备的叶绿素铜钠溶液在 628 和 406 nm 处有两个吸收峰,最大吸收峰的位置为 406 nm。测得其 A_{406}/A_{628} 为 $0.4981/0.1312 = 3.80$,符合国家标准 GB 3262 - 1982(国标中 A_{405}/A_{630} 的消光比值为 3.2 ~ 4.0 的范围)。

2.2 上染条件对叶绿素铜钠染色效果的影响

2.2.1 染液质量浓度的影响 取各质量浓度的溶液 10 mL,分别加入 0.01 g NaCl 固体后,放入 90 °C 水浴中,使其温度升到 90 °C,再各放入 1 g 亚麻布,恒温染色 30 min,将其取出用蒸馏水洗涤,其余同 1.3 节。8 g/L 的残液稀释 20 倍,其余残液稀释 10 倍,测其吸光度并计算上染率,结果见表 1。

由表 1 可知,随着叶绿素铜钠质量浓度的提高,上染率却不是一直升高。当质量浓度为 1 g/L 时,上染率达到最大值,为 35.70 %。随着叶绿素铜钠质量浓度的增加,白度、 L^* 、 a^* 值都随之下降,表明颜色越来越暗,上染的颜色越来越深,同时黄绿光逐渐增大。由于染料在染液中发生聚集和解聚的过程中,温度和染液质量浓度对其有一定的影响。温度恒定时,提高质量浓度,使染料聚集;降低染料质量浓度,使染料聚集体发生解聚。亚麻纤维对叶绿素铜钠的吸附量随着其溶液质量浓度的增加而增加,所以,染后布颜色渐深。但是,质量浓度增加,上染率下降表明染料的利用率随之降低。综合上染率和色品指数,染液质量浓度 1 g/L 为宜。

2.2.2 染色时间的影响 取 5 块 1 g 的亚麻布,染液质量浓度为 1 g/L,促染剂 1 g/L,浴比 1 : 20,在不同时间染色,其他同 2.2.1 节。将残液稀释 10 倍测吸光度,计算上染率,结果亦见表 1。

由表 1 可知,随着上染时间的增加,上染率也随之增加,上染时间 20 ~ 50 min 时,上染率明显增加,但 50 ~ 60 min 时,上染率变化不大,因为上染初期,随着时间的延长,叶绿素铜钠吸附到纤维表面并不断向纤维内部扩散,此时,染液中叶绿素铜钠的质量浓度逐渐降低,随着上染量逐渐增加,叶绿素铜钠也会从纤维上解吸,当达到吸附-解吸平衡时,织物上的染料量已达平衡状态不再增加,继续延长染色时间也不会改变上染的量。

时间对白度、 L^* 、 a^* 、 b^* 的影响有所不同,随上染时间的增加,白度、 L^* 的变化相同,其值呈下降趋势,即染后的布的颜色越深并且逐渐变暗。 a^* 的变化是上染时间 20 ~ 50 min 时呈下降趋势,而 50 ~ 60 min 时又上升,在 50 min 时达到最小值; b^* 呈总体上升趋势。说明随着上染时间的延长,黄绿色光增大,但超过 50 min,黄绿色光偏小。综合上染率和色品指数,染色进行 50 min 较好。

2.2.3 染色温度的影响 在不同温度下染色 50 min,其他同 2.2.2 节的主要步骤,将残液稀释 5 倍测吸光度,计算上染率,结果同样见表 1。随上染温度的升高,上染率并不一直随之增加,80 ~ 98 °C 时,上染率是逐渐增加,而 98 ~ 100 °C 时,又呈明显下降趋势。综上所述,在上染温度为 98 °C 时,上染率达到最大值,为 35.14 %。从表 1 可以看出,随温度的增加,白度、 L^* 的变化趋势是相同的,先是随温度的升高而降低,在温度升至 98 °C 时,白度和 L^* 的值达到最小,在这个温度所染布的颜色最深、最暗,而温度升至 100 °C 时,颜色变浅、变亮。随温度的增加, a^* 、 b^* 在 98 °C 时出现拐点,说明温度低于 98 °C,染后布的黄绿色光增加;温度继续升高,染后布的黄绿色光减小。其原因可能是随着温度的升高,染料分子

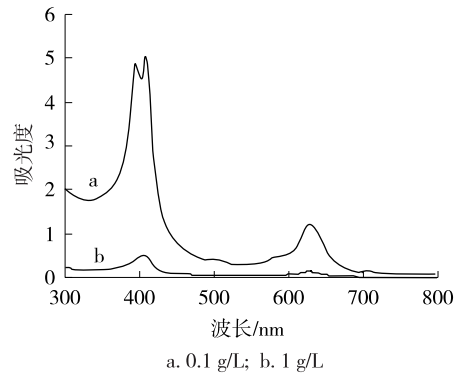


图 1 叶绿素铜钠的吸光曲线

Fig. 1 Absorbance curves of sodium copper chlorophyll

的动能增加,吸附扩散速率亦增大,使染料移向纤维内部的速率亦增大,但同时解吸作用也更加明显,所以,升高温度有时会降低上染率。从吸附、移染和解吸 3 方面考虑,温度过低和过高对染色过程都是不利的,实验证明 98 °C 染色效果最好。

2.2.4 促染剂用量的影响 促染剂在染料加工过程中有助于提高染料性能,如分散性、热稳定性、防尘性、防凝聚、助溶等,或有助于提高给定性能如匀染、促染、增深等及染在纤维上的性能如固色、柔软等,增强耐热性、保持或提高分散体稳定、防止染料凝聚、有助于提高染色匀染性。

取 8 块亚麻布,每块 1 g,染色温度 98 °C,在促染剂用量不同条件下染色,其他的主要步骤同 2.2.3 节,结果同样列入表 1。随促染剂用量的增加,上染率也随之增加,说明促染剂的增加,可以增加热稳定性、增强亚麻纤维和染料的结合性能。促染剂的加入,少量可使扩散系数增大,可以克服纤维和染料间电荷相斥。质量浓度高,扩散系数逐步降低,会增进染料对纤维的吸附或引起染料聚集。前者利于吸附,后者阻止解吸,对上染过程起促进作用。

由表 1 可知,随促染剂用量的增加,白度、 L^* 和 a^* 的值呈下降趋势,即染后的布的颜色变深、而且颜色变暗、彩度越显绿色。随促染剂用量的增加, b^* 值增大, a^* 值变小,说明染后布的颜色黄绿色光逐渐增强。综合上染率和色品指数,促染剂的用量确定为 60 g/L。

表 1 染色条件对色度参数的影响¹⁾

Table 1 Effects of dyeing conditions on colorimetric parameter

染色条件 dyeing conditions	上染率/% exhaustion rate	白度 brightness	L^* 白-黑 white-black	a^* 红-绿 red-green	b^* 黄-蓝 yellow-blue	
染液质量浓度/(g·L ⁻¹) mass concn. of dyeing solution	0.5	35.40	57.86	85.76	-7.73	9.72
	1	35.70	51.55	82.13	-9.94	9.83
	2	15.30	48.80	80.22	-11.32	9.41
	4	13.30	43.47	77.07	-11.74	9.91
	8	7.40	37.10	73.28	-13.20	11.20
染色时间/min dyeing time	20	16.50	56.01	84.10	-9.17	8.51
	30	17.20	54.69	83.52	-9.56	8.88
	40	21.40	52.98	82.68	-9.78	9.12
	50	24.80	53.42	82.90	-9.82	9.07
	60	25.50	52.20	82.25	-9.39	9.19
染色温度/°C dyeing temp.	80	13.00	53.84	83.04	-9.85	8.86
	85	17.75	53.37	82.75	-9.77	8.81
	95	22.46	53.27	82.73	-9.64	8.96
	98	35.14	47.55	80.18	-10.36	10.59
	100	22.10	53.57	82.84	-9.78	8.79
促染剂用量/(g·L ⁻¹) dosage of accelerating agent	0	23.20	53.52	82.69	-8.59	8.58
	5	34.06	48.95	80.82	-10.09	10.20
	10	38.41	46.34	79.60	-10.66	10.96
	15	39.13	46.02	79.47	-11.06	11.08
	20	42.39	45.13	78.94	-11.57	11.21
	30	51.10	44.52	78.85	-11.55	11.76
	40	56.88	43.95	78.48	-11.98	11.77
60	63.04	42.64	77.92	-12.91	12.36	
浴比 bath ratio	1:5	79.00	50.60	82.25	-9.95	10.90
	1:10	74.64	47.94	80.88	-10.67	11.45
	1:15	68.48	45.52	79.52	-12.03	11.79
	1:20	63.04	42.64	77.92	-12.91	12.36

1) L^* 明度; a^* 、 b^* 色品指数 L^* lightness; a^* 、 b^* chromatic index 表 2 同 same as in Table 2

2.2.5 染色浴比的影响 浴比是指被染物的质量与染料溶液的体积比。浴比的大小,对上染率和染色均匀性有明显的影响。取 4 块亚麻布,每块 1 g,染液质量浓度为 1 g/L,促染剂用量 60 g/L,在不同的浴比条件下,98 °C 水浴染色 50 min,其它按 2.2.4 节的主要步骤进行实验,测吸光度时将残液稀释 5 倍,

计算上染率,结果亦列入表1中。浴比1:5~1:20(g:mL,下同),上染率随之下降,说明浴比越大,上染率就越小,染浴中残留的染料越多;但浴比过小,尽管上染率高,但布面颜色均匀性较差。

从表1得知,随浴比的增加,白度、 L^* 和 a^* 的值也随之下降,即染后布的颜色变深、明度变暗、黄绿色光变大。但 b^* 的变化则正好相反,随浴比的增加, b^* 的值上升,即上染布的色调越显黄色。合适的浴比可以得到均匀的深色,而且染料的利用率也较高。综合两方面因素,本实验选用的浴比为1:20。

2.3 染色牢度的检验

2.3.1 水洗牢度 在2.2节选出的较佳的染色条件下进行3个平行实验,上染率都达到60%以上,见表2。经水洗后,布的白度和明度提高,黄绿色光变小,但变化幅度并不大,经色卡对比,水洗牢度达到3.5级,符合实际要求。

表2 水洗前后色度参数的比较

Table 2 Comparison of colorimetric parameters before and after rinse

编号 No.	上染率/% exhaustion rate	白度 brightness		L^*		a^*		b^*	
		洗前 before rinse	洗后 after rinse	洗前 before rinse	洗后 after rinse	洗前 before rinse	洗后 after rinse	洗前 before rinse	洗后 after rinse
1	63.99	77.81	80.96	77.81	80.96	-11.62	-9.73	12.05	10.22
2	64.69	78.31	81.76	78.31	81.76	-11.92	-9.66	12.22	9.93
3	61.19	79.06	81.35	79.06	81.35	-11.62	-9.82	11.65	9.81

2.3.2 日晒牢度 在光化学变化过程中,染料分子的发色体系发生变化或遭到破坏,就会发生变色或褪色现象。在纺织物等基质上,染料的这种耐光性质用日晒牢度表示。利用美国产的耐光照牢度仪,按照实际生产中测试方法光照20h,测试了两个试样,牢度分别为2.5和2级,比美国标准AATCC16B要求低一级,说明叶绿素铜钠染色耐光牢度稍差。染料在纤维上会发生聚集,日晒牢度随染料浓度增加而提高,而本实验采用的染料叶绿素铜钠溶解性和分散性好,聚集性差,而且为了充分利用染料,染液质量浓度较低。所以,染料耐光牢度稍差。

2.3.3 摩擦牢度 按实际生产中测试方法(GB 18401-2003)测试了染后布的湿摩擦和干摩擦牢度。试验时按照规定条件将白布和试样摩擦,按照原样褪色和白布沾色情况分别和褪色、沾色灰色样卡比较而评定等级。结果湿摩擦牢度和干摩擦牢度均达5级,为最高级别。说明叶绿素铜钠染色的摩擦牢度非常好。

2.4 红外吸收光谱分析

由图2可看出,以叶绿素铜钠为染料,染前与染后亚麻纤维的红外光谱图总体差异较小,小于 1000 cm^{-1} 的特征峰几乎没有变化。这是因为在做选择最佳上染条件实验过程中,主要根据上染率选择质量浓度的,在 1 g/L 时,上染率最佳,但也仅为35.7%,再经皂洗除去浮色后,附着在亚麻纤维上的叶绿素铜钠很少。

在 $3400\sim 3430\text{ cm}^{-1}$ 处,羟基伸展振动吸收峰的强度稍有下降且峰向长波的方向有细微偏移。这说明叶绿素铜钠染料与亚麻纤维上少部分羟基发生了氢键结合^[12]。

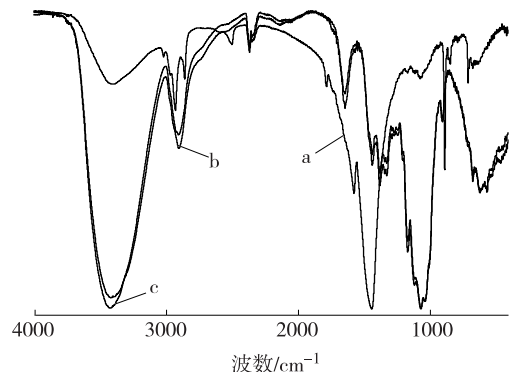
在 2900 cm^{-1} 处,C-H的振动伸缩峰^[13],有所增强。亚麻纤维与染料分子的少量氢键作用并不影响主体的C-H峰的形状及位置的变化。而峰强度的变化,说明染料与亚麻纤维两者峰的叠加。

在 1640 cm^{-1} 处,H-O-H弯曲振动峰有所加强,这是因为亚麻纤维易吸水,样品中含少量水分。

总之,经染色后,亚麻主体结构未发生变化,染料吸附于纤维上,与纤维发生少量氢键作用。

2.5 形貌观察

将染色前后的亚麻布经喷金后在扫描电镜下观察,结果见图3。染色前,亚麻纤维含有一些杂质^[14],

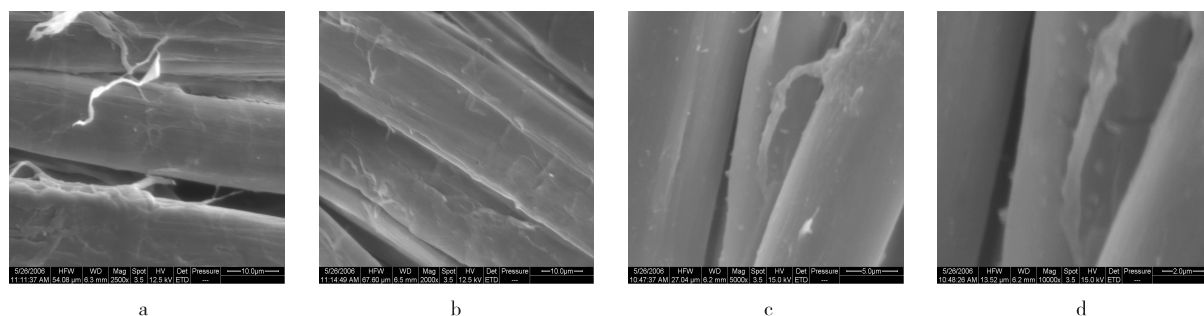


a. 叶绿素铜钠 sodium copper chlorophyll; b. 染色布 dyed flax fabric; c. 亚麻白布 white flax fabric

图2 红外光谱分析

Fig. 2 Analysis of FT-IR spectra

经染色后杂质消失。在染色过程中,一定温度下水浴处理,而且后续利用洗涤剂溶液处理,这样会将纤维上的杂质除去。同时,在扫描电镜图片上观察不到染色布上有染料的痕迹,这只能说明叶绿素铜钠在纤维表面没有聚集现象。因为本实验所用叶绿素铜钠水溶性非常好,且染液质量浓度不高,叶绿素铜钠均匀分散于纤维中,且其分子总数少,比扫描电镜所能观察到的最小分辨距离还小,所以观察不到纤维染色前后的变化。此结果与水洗牢度和摩擦牢度的测试结果相一致,说明染料在亚麻纤维中分布均匀。



a, b. 染前 before dyed; c, d. 染后 after dyed

图3 染色前后亚麻布及纤维的形貌

Fig.3 Flax fabric and fibers before and after dyeing

3 结论

3.1 以旱柳落叶为原料制备了叶绿素铜钠,其紫外可见光谱图的吸收峰位置基本与资料符合。 A_{406}/A_{628} 的消光比值为3.80,在3.2~4.0的范围内,符合国家标准GB 3262-1982。

3.2 通过实验探讨,获得叶绿素铜钠上染亚麻纤维的最佳染色条件,即:叶绿素铜钠溶液质量浓度为1 g/L,染色浴比1:20(g:mL),促染剂用量为60 g/L,在98℃染色50 min,该条件下上染率可达60%以上。

3.3 染色的亚麻布,水洗牢度和摩擦牢度达到实用要求,但日晒牢度稍差些。FT-IR分析和SEM观察表明,叶绿素铜钠上染后,与亚麻纤维上少量的羟基形成氢键作用,而且在纤维上分散均匀。

参考文献:

- [1]王正平,单旭峰.叶绿素铜钠盐的制备及稳定性研究[J].化学工程师,2004(9):50-51.
- [2]杨继生,何学志.叶绿素铜钠盐的性质、制备工艺及其应用[J].广州食品工业科技,2002,18(2):33-35.
- [3]KIM Tae-kyung, YOON Seok-han, SON Young-a. Effect of reactive anionic agent on dyeing of cellulosic fibers with a berberine colorant[J]. Dyes and Pigments,2004,60:121-127.
- [4]柯贵珍,潘锦标,于伟东,等.天然植物染料黄连在毛织物染色中的应用[J].武汉科技学院学报,2007,20(2):1-5.
- [5]LUCIANA G A, LUISA P, PAOLA B, et al. *Rubia tinctorum* a source of natural dyes: agronomic evaluation, quantitative analysis of alizarin and industrial assays[J]. Industrial Crops and Products,1997(6):303-311.
- [6]位丽,侯秀良,周启澄,等.茜草染料的提取及其在羊毛织物上的染色性能研究[J].毛纺科技,2006(12):5-8.
- [7]BECHTOLD T, TURCANU A, GEISLER S, et al. Process balance and product quality in the production of natural indigo from *Polygonum tinctorium* Ait. Applying low-technology methods[J]. Bioresource Technology,2001(81):171-177.
- [8]杨静新,王海峰,厉成宣,等.牛仔布靛蓝浸染工艺探讨[J].南通大学学报:自然科学版,2007,6(1):38-41.
- [9]KAMEL M M, REDA M. SHISHTAWY E I, et al. Ultrasonic assisted dyeing III. Dyeing of wool with lac as a natural dye[J]. Dyes and Pigments,2005(65):103-110.
- [10]李世朋,王璐,李娟,等.天然槐米染料的精制及其对羊毛织物染色效果的影响[J].毛纺科技,2006(9):23-26.
- [11]吴坚,林明霞.天然植物染料黄芩对羊毛织物的染色性研究[J].针织工业,2005(9):57-59.
- [12]郭雅琳.化学方法改善亚麻染色性能的研究[D].天津:天津工业大学博士学位论文,2001.
- [13]PRETSCH E, BUHLMANN P, AFFOLTER C.波谱数据表——有机化合物的结构解析[M].荣国斌,译.朱士正,校.上海:华东理工大学出版社,2000:263-265.
- [14]王小娟,焦林.天然染料茜草对亚麻织物的染色性能研究[J].印染助剂,2005,22(10):27-30.