

竹篾染色工艺的优化研究

孙德林, 刘文金, 姚文亮

(中南林业科技大学, 长沙 410004)

摘要: 在竹篾的染色过程中, 研究了添加双季铵盐表面活性剂来改善染色效果。探讨了表面活性剂的用量、染色时间、温度等因素对竹篾色差值的影响, 采用响应面法对染色工艺进行了优化, 研究表明, 表面活性剂能够有效地提高色差值。当表面活性剂的用量为 0.9%、染色温度 93.0 °C、染料质量分数为 0.7%、染色时间为 60 min 时, 竹篾的色差值可达到 70.13 NBS, 比在相同工艺条件下未加入表面活性剂时, 提高了 15.76 NBS。

关键词: 竹篾染色; 表面活性剂; 工艺优化

中图分类号: 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2012)05-0009-04

Optimization of Bamboo Split Dyeing Technology

SUN De-lin, LIU Wen-jin, YAO Wen-liang

(Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410004, China)

Abstract: The technology of adding bis-quaternary ammonium salt surfactant to improve the dyeing effects of bamboo split was studied. The influences of surfactant dosage, dyeing time, and dyeing temperature on the color difference of bamboo split were discussed. The dyeing process was optimized and analyzed by response surface methodology. The result showed that the surfactant can increase the color difference value. It can reach 70.13 NBS when surfactant dosage is 0.9%, the dyeing temperature is 93 °C and the dyeing time is 60 min; the color difference value is 15.76 NBS higher comparing with the method without surfactant.

Key words: bamboo split dyeing; surfactant; process optimization

竹子作为亚洲独有的可再生生物质资源, 不仅具有生长周期短的特点, 而且所具有的自然风韵和文化内涵是其他材料无法比拟的。随着人们对自然与生活的认识程度的提高, 竹材及其制品越来越多地得到消费者的喜爱。用竹材加工成的各种器皿在包装行业早有应用^[1-2], 而用彩色竹篾编织成的彩色包装更是受到消费者的青睐, 不仅能够提高被包装产品的附加值, 彩色竹编包装本身就是一件艺术品。

在彩色竹编制造过程中, 竹篾的染色是一道极其重要的工序。有关竹材染色的技术有较多的报道^[3-4], 但多采用加热的方法来提高染色速度。实际上, 在染液中加入表面活性剂是一种提高染色效果的有效手段, 特别是双季铵盐表面活性剂, 其分子中含有 2 个亲水基和 2 个疏水基, 使其具有更高的吸附性

和表面活性^[5], 这是其他表面活性剂诸如十二烷基苯磺酸钠、仲烷基磺酸盐等难以相比的, 但目前多应用于纺织行业^[6], 在竹材染色方面的报道较少。笔者以竹篾为原料, 以染色前后的色差值为考察指标, 就双季铵盐表面活性剂(以下简称表面活性剂)的用量、染色温度和时间等因素对色差值的影响进行探讨, 并采用响应面法对染色工艺进行优化, 以提高竹篾的染色效果。

1 实验

1.1 材料与设备

材料: 慈竹, 4 年生, 采自湖南益阳; 染料为酸性大红 GR、酸性黑 ATT; 表面活性剂为双季铵盐。

收稿日期: 2011-12-18

基金项目: 国家林业公益性行业科研专项(201004005)

作者简介: 孙德林(1966—), 男, 湖南常德人, 博士, 中南林业科技大学高级工程师, 主要研究方向为木制品设计、加工及木质复合材料。

设备:全自动测色色差计(WSC-S,上海);恒温水浴锅(HHS-2,上海)。

1.2 染色工艺

把除了竹青与竹黄的慈竹加工成 2 mm 厚的竹箨,干燥至含水率为 10%。在探索性实验的基础上,将染料配制成质量分数为 0.7% 的染液,添加不同质量分数的表面活性剂,在不同的染色温度和时间等条件下进行染色实验。将染色后的竹箨降至室温并用冷水冲洗,沥干后在 60 °C 的恒温箱中干燥至含水率为 10%,然后测试并计算染色前后的色差值,并与未加入表面活性剂的竹箨进行对比。

1.3 染色效果评定

根据国际照明委员会(CIE)推荐的色差公式计算竹箨染色前后的色差值^[7]:

$$\Delta E_{ab}^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (1)$$

式中: ΔE_{ab}^* 表示色差(NBS); L, a, b 表示色度坐标。 ΔE_{ab}^* 值越大,染色效果越好。

2 结果与讨论

2.1 单因素实验

在染液质量分数相同的条件下,将染色时间、温度和表面活性剂的用量作为实验因素,在探索性实验的基础上进行单因素实验,对竹箨染色前后的色差值(ΔE_{ab}^*)进行考察,并分析染色前后色差变化趋势。

2.1.1 染色温度的影响

当染料的质量分数为 0.7%、染色时间为 60 min、表面活性剂质量分数为 0.8% 时,染色温度对竹箨色差的影响见图 1。 ΔE_{ab}^* 值在 80 °C 之前增加迅速,接近 90 °C 附近变得平缓,超过 90 °C 开始下降,这说明在此实验条件下,温度在 90 °C 附近能够得到比较好的染色效果。

竹箨是一种具有微小孔隙的多孔性材料,染色时染料分子会向竹箨中发生渗透与聚集。而在染液中,染料分子或离子多以胶束状态存在,阻碍了竹纤维对染料的吸附^[8]。升高染液温度,染料分子和水分子的运动速度加快,导致胶束等聚集体解聚,同时也加快了染料粒子的渗透与扩散作用,最终提高了染色效果;但当温度较高时,染料分子所获得的动能也更大,这也使得吸附在竹纤维表面的染料分子的逃逸动能随之增加,同时,较高温度加快了染料的氧化与分解,因此,较高的温度将导致 ΔE_{ab}^* 值的降低。

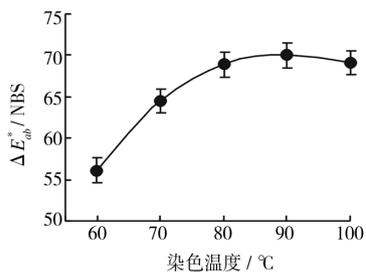


图 1 染色温度对色差值的影响

Fig. 1 Effect of dyeing temperature on color difference

2.1.2 染色时间的影响

当染料质量分数为 0.7%、染色温度在 90 °C 附近、表面活性剂质量分数为 0.8% 时,染色时间对竹箨色差的影响见图 2。 ΔE_{ab}^* 值在 60 min 之前增加迅速,超过 60 min 后下降,70 min 以后下降趋势减缓。

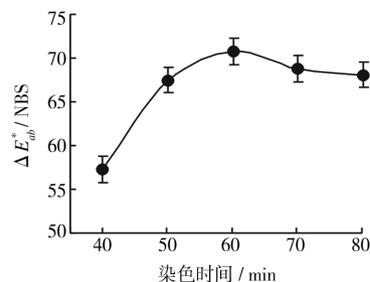


图 2 染色时间对竹箨色差的影响

Fig. 2 Effect of dyeing time on bamboo split color difference

这可能是因为在染色初期,染料分子迅速地渗透与被吸附,因此 ΔE_{ab}^* 值增加迅速,随着染色时间的延长,竹箨对染料的吸附趋于饱和,此时 ΔE_{ab}^* 值增幅较小。若染色时间过长,染料分子长时间在加热条件下与空气中的氧接触,易于氧化,因此 ΔE_{ab}^* 值下降。

2.1.3 表面活性剂用量的影响

当染料质量分数为 0.7%、染色温度在 90 °C 附近、染色时间为 60 min 时,表面活性剂质量分数对竹箨色差的影响见图 3。随着表面活性剂质量分数的增加, ΔE_{ab}^* 值开始增幅较缓,超过 0.6% 后迅速增加,但超过 0.8% 后增幅不明显。

这是因为表面活性剂能够分散染液中积聚的染料颗粒与胶束,使染液变得更加均匀,因此,在染液中添加表面活性剂有利于染料粒子的扩散与渗透,最终导致染色竹箨 ΔE_{ab}^* 值的增加。然而,当表面活性剂的质量分数增加到一定程度后,染液体系处于比较均衡的状态,即使再增加表面活性剂的用量,并不能更

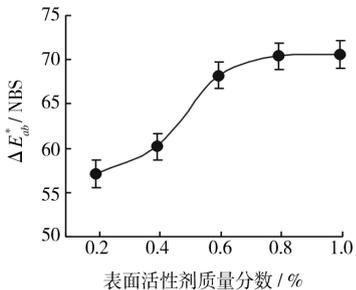


图3 表面活性剂用量(质量分数)对色差的影响

Fig.3 Effect of surfactant dosage on bamboo split color difference

大程度地改善已经处于均衡状态的染液,因此 ΔE_{ab}^* 值增加缓慢。

2.2 响应面分析

2.2.1 响应面法实验设计

为了使染色工艺更加科学与合理,在单因素实验的基础上,以染色温度、染色时间和表面活性剂质量分数等为影响因素,以竹篾的色差值 ΔE_{ab}^* 为响应值,设计 3 因素 3 水平实验来进行响应面分析^[9],见表 1。

表 1 响应面实验设计中的水平和编码

Tab.1 Level and code of variables chosen for response surface methodology design

变量	编码	编码水平		
		-1	0	1
表面活性剂质量分数 / %	A	0.6	0.8	1.0
染色时间 / min	B	50	60	70
染色温度 / °C	C	80	90	100

2.2.2 多元回归模型分析与验证

根据 Box-Behnken 设计原则进行实验,运用 Design-Expert 7.1.6 软件进行二次多元回归分析,得到回归方程:

$$Y = 68.48 + 3.64A + 7.42B + 5.93C + 4.71BC - 4.63A^2 - 12.10B^2 - 7.67C^2 \quad (2)$$

同时得到模型与方差分析结果,见表 2,其中模型的 P 值为 0.000 2,小于 0.05,表现为非常显著;而失拟项的 P 值为 0.236 2,大于 0.05,表现为不显著,且复相关系数为 0.968 6,接近 1,这表明模型与实际情况吻合程度较高。

模型响应面的等高线见图 4,封闭的椭圆形曲线表明:建立的二次多元回归方程有最优值存在;且染色温度、表面活性剂用量和染色时间等三因素的交互

表 2 模型与方差

Tab.2 Model and variance

来源	平方和	自由度	均方	F 值	P-值	显著性*
模型	1 999.32	9	222.15	24.02	0.000 2	**
A	105.85	1	105.85	11.45	0.011 7	*
B	439.86	1	439.86	47.56	0.000 2	**
C	285.84	1	285.84	30.91	0.000 9	**
AB	31.14	1	31.14	3.37	0.109 2	
AC	0.000 1	1	0.000 1	0.000 11	0.997 5	
BC	88.92	1	88.92	9.62	0.017 3	*
A ²	90.42	1	90.42	9.78	0.016 7	*
B ²	616.87	1	616.87	66.7	<0.000 1	**
C ²	247.96	1	247.96	26.81	0.001 3	*
残差	64.74	7	9.25			
失拟误差	39.99	3	13.33	2.15	0.236 2	不显著
纯误差	24.75	4	6.19			

* : ** 表示非常显著; * 表示显著

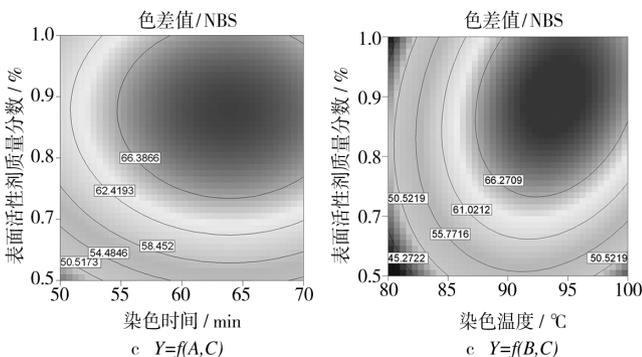
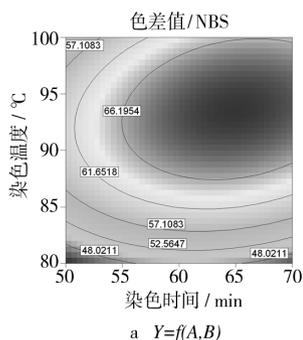


图 4 $Y = f(A, B), f(A, C)$ 和 $f(B, C)$ 的等高线
Fig.4 Contour of $Y = f(A, B), f(A, C)$ and $f(B, C)$

作用对 ΔE_{ab}^* 的影响比较明显,当某一因素固定时,随着其它两因素的增加, ΔE_{ab}^* 值增加迅速,达到峰值后有所降低。因此,合理地优化染色温度、表面活性剂用量和染色时间之间的比值,有利于提高 ΔE_{ab}^* 值。

2.2.3 工艺优化与验证

从回归方程(2)中可知, A, B, C, BC, A², B², C² 为

显著要素,影响竹篾染色因素的顺序为: $B>C>A$,即在本工艺条件下,染色温度的影响最大,表面活性剂用量次之,时间最小。对模型进行优化,得到最优结果:当染色温度为 $93.45\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、表面活性剂用量为 0.91% 、染色时间为 60.01 min 时, ΔE_{ab}^* 的值为 71.46 NBS 。

在染色温度为 $93\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、表面活性剂质量分数为 0.9% 、染色时间为 60 min 的条件下进行3次验证性实验, ΔE_{ab}^* 的平均值为 70.13 NBS ,与理论值基本相近。同时,在不添加表面活性剂、但其他实验参数相同的条件下进行对比实验, ΔE_{ab}^* 的值只有 54.37 NBS ,与添加表面活性剂后的优化值相差 15.76 NBS 。由此可见,在慈竹篾染色中添加表面活性剂能有效地提高染色效果。

3 结论

在染料质量分数一定的情况下向染液中添加表面活性剂,对竹篾进行染色,竹篾的色差值与染色温度、时间和表面活性剂的用量等参数有关。表面活性剂的添加可以较大幅度地提高色差值。较为优化的染色工艺为:染料质量分数 0.7% 、染色温度 $93\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、表面活性剂的用量 0.9% 、染色时间 60 min ,竹篾的色差值可达 70.13 NBS 。

参考文献:

- [1] 谢淑丽. 竹材在白酒外包装设计中的运用探讨[J]. 包装工程, 2009, 30(5): 146-147.
XIE Shu-li. On the Application of Bamboo Material in Liquor External Packaging Design[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(5): 146-147.
- [2] 陈断华, 陈雪丽. 竹文化的传承与现代包装设计[J]. 包装工程, 2007, 28(5): 123-125.
CHEN Xin-hua, CHEN Xue-li. Heritage of Bamboo Culture and Modern Package Design[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(5): 123-125.
- [3] 王新建, 盖端阳, 张腾, 等. 竹材染色效果影响因素初步探讨[J]. 林业机械与木工设备, 2011, 39(9): 33-37.
WANG Xin-jian, GAI Duan-yang, ZHANG Teng, et al. Preliminary Discuss on Factors Influencing the Dyeing Effect of Bamboo Timber[J]. Forestry Machinery & Wood Working Equipment, 2011, 39(9): 33-37.
- [4] 谢满华, 赵广杰. 竹片的炭化及染液着色处理技术[J]. 竹子研究汇刊, 2004, 23(1): 37-41.
XIE Man-hua, ZHAO Guang-jie. Technology of Pigmentation of Bamboo Strips by Carbonizing and Dyeing Treatments [J]. Journal of Bamboo Research, 2004, 23(1): 37-41.
- [5] 龚丽芳, 常菁, 龚萍, 等. 双季铵盐表面活性剂对涤纶、棉织物的匀染性 [J]. 南京工业大学学报 (自然科学版), 2010, 32(5): 73-76.
GONG Li-fang, CHANG Jin, GONG Ping, et al. Leveling Property of Gemini Cationic Surfactants for Terylene and Cotton Fabric[J]. Journal of Nanjing University of Technology (Natural Science Edition), 2010, 32(5): 73-76.
- [6] 薛旭婷, 于宏伟, 贾丽华, 等. 双子阳离子表面活性剂对亚麻织物染色性能的影响[J]. 印染助剂, 2006, 23(10): 34-36.
XUE Xu-ting, YU Hong-wei, JIA Li-hua, et al. Influences of Gemini Cat Ionic Surfactants on the Dyeability of Linen [J]. Textile Auxiliaries, 2006, 23(10): 34-36.
- [7] 朱林峰, 刘元, 罗玉华, 等. 粗皮桉不同家系木材的表面视觉性质 [J]. 中南林学院学报, 2004, 24(4): 41-46.
ZHU Lin-feng, LIU Yuan, LUO Yu-hua, et al. Study of the Surface Visual Quality of Different Genealogies of Eucalyptus Pellita[J]. Journal of Central South of Forestry University, 2004, 24(4): 41-46.
- [8] 舒甜甜. 毛竹竹材染料染液的渗透特性研究[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2010.
SHU Tian-tian. The Research of Moso-bamboo Dye Solution Permeability[D]. Hangzhou: Zhejiang A & F University, 2010.
- [9] 孙德彬. 响应面法优化杨木单板的染色工艺[J]. 木材工业, 2010, 24(4): 15-17.
SUN De-bin. Optimizing Poplar Veneer Dyeing Process by Response Surface Methodology[J]. China Wood Industry, 2010, 24(4): 15-17.