

研究与开发

响应面法优化杨木单板的染色工艺

孙德彬

(中南林业科技大学材料科学与工程学院, 湖南长沙 410001)

摘要: 采用酸性染料对速生杨木单板染色,考察染液质量分数、染色时间和染色温度对单板色差值的影响。采用响应面法(RSM)建立二次回归模型,并对染色工艺进行优化。结果表明:在染液质量分数0.52%、染色时间4.2 h、染色温度72 ℃时,能够获得比较理想的染色效果,杨木单板的色差值为62.54 NBS。

关键词: 杨木单板; 染色; 响应面分析; 回归模型

中图分类号: S792.11; TS193

文献标识码: A

文章编号: 1001-8654(2010)04-0015-03

Optimizing Poplar Veneer Dyeing Process by Response Surface Methodology

SUN De-bin

(College of Material and Engineering, Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410001, Hunan, China)

Abstract: The author investigated the influence on fast grown poplar veneer color caused by acid-based dye stains at various concentrations, times, and temperatures. She developed a quadratic regression model between the influencing factors and the color performance using a response surface method. She found the optimized parameters were: 0.52% dye concentration, 4.2 hours dyeing time, and 72 ℃ temperature. The veneer color difference under the optimized condition was 62.54 NBS.

Key words: poplar veneer; dye; response surface methodology; regression model

木材单板染色是生产人造薄木的关键工序。通过染色,能够改善木材的视觉效果,增强木制品的装饰性。目前,关于木材单板染色的报道较多,但由于工艺影响因素较多,多数研究停留在实践经验的总结上。响应面分析法(response surface methodology, RSM)是通过合理的试验设计,采用多元二次回归方程拟合因素与响应值之间的关系,通过对回归方程的分析,寻求最佳工艺参数、解决多变量问题的一种统计方法,具有试验周期短、精度高等优点。本研究采用酸性染料对速生杨木单板进行染色,应用响应面法,探讨染液质量分数、染色温度和染色时间等因素对杨木单板色差的影响,优化杨木单板的染色工艺。

1 材料与方法

1.1 材料

速生杨木(*Populus euramericana* cv. '1-214'), 采自湖南益阳,6年生,制成尺寸为400 mm×200 mm×3 mm的旋切板,干燥至含水率为12%;

染料:酸性橙Ⅱ、酸性大红GR、酸性黑ATT; JFC渗透剂(脂肪醇聚氧乙烯醚)。

1.2 设备

WSC-S全自动测色色差计,电子天平,电热恒温水浴锅。

1.3 方法

1.3.1 染色工艺

将酸性橙Ⅱ、酸性大红GR、酸性黑ATT和渗透剂按照一定的比例,配制成不同质量分数的染液。在一定的温度下,将杨木单板试件放入染色池中浸泡一段时间;将试件用冷水(室温)冲洗,垂直放置自然晾干,再人工干燥至含水率8%时,测试其色差。

收稿日期: 2009-12-22; 修改日期: 2010-05-24

基金项目: 湖南省科技厅重点科技项目(2007TP4002)子课题; 中南林业科技大学青年基金资助项目(2009055B)。

作者简介: 孙德彬(1969—),女,中南林业科技大学材料科学与工程学院讲师。

1.3.2 试验设计

首先进行单因素试验,考察染液质量分数、染色时间和温度等因素对试件染色前后色差的影响,确定各因素的适用范围;然后,采用 Box-Behnken 方法,设计响应面试验,优化工艺条件。

1.3.3 染色效果评定

采用国际照明委员会(CIE)的 $L^*a^*b^*$ 色彩评价系统进行测量^[1]。采用多点测量(8个点),计算试件染色前后色差变化的平均值。

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

式中: ΔE^* —色差,NBS。其值越大,表明浸入木材纤维的染料越多,木材颜色越深; $L^*a^*b^*$ —色度坐标。

2 结果与讨论

2.1 单因素试验

2.1.1 染色时间的影响

固定染液质量分数为 0.5%、染色温度为 70℃,考察不同染色时间下单板 ΔE^* 值的变化情况。如图 1 所示,当染色时间短于 4 h 时,单板 ΔE^* 值随着染色时间的延长而迅速增加,在 4 h 时达到了 62.78 NBS,随后增幅明显减缓。延长染色时间有利于增强染色的效果,但同时导致生产成本增加。

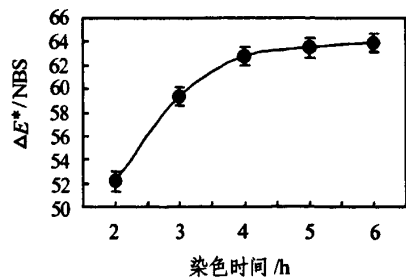


图 1 染色时间对单板色差值的影响

Fig. 1 Effects of dyeing time on veneer color difference

2.1.2 染液质量分数的影响

固定染色温度为 70℃、染色时间为 4 h 时,染液质量分数和单板 ΔE^* 的关系如图 2 所示。当染液质量分数由 0.1% 增至 0.5% 时,单板 ΔE^* 增加了 8.61 NBS;而染液质量分数从 0.5% 增至 0.9% 时,单板 ΔE^* 仅增加了 1.24 NBS,增幅趋缓。

2.1.3 染色温度的影响

在染液质量分数为 0.5%、染色时间为 4 h 时,染色温度对单板 ΔE^* 值的影响如图 3 所示。当染液温度由 50℃ 上升到 70℃ 时,单板 ΔE^* 达到峰值 62.78

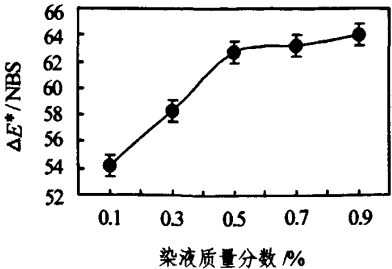


图 2 染液质量分数对单板色差值的影响

Fig. 2 Effects of dye mass concentration on veneer color difference

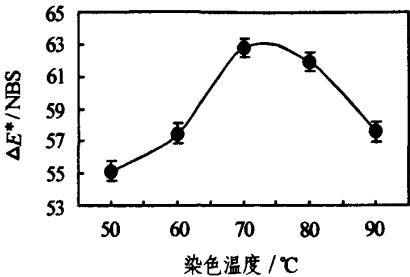


图 3 染色温度对单板色差值的影响

Fig. 3 Effects of dyeing temperature on veneer color difference

NBS,随后下降。这可能是因为升高温度能够提高反应体系的活性,但较高的温度会造成染料的分解。

2.2 响应面试验

2.2.1 方案设计

单因素试验结果表明,染色时间在 3~5 h、染色温度在 60~80℃、染液质量分数在 0.3%~0.5% 时,单板染色前后的 ΔE^* 较大。在此基础上,以杨木单板的 ΔE^* 为响应值,根据 Box-Behnken 中心组合原理,设计 3 因素 3 水平试验,因子及水平见表 1。

表 1 响应面试验设计中的水平和编码

Tab. 1 Level and code of variables for RSM design

变量	水平		
	-1	0	1
A 染色时间/h	3	4	5
B 染液质量分数/%	0.3	0.5	0.7
C 染色温度/℃	60	70	80

2.2.2 多元回归分析

运用 Design-Expert 7.1.6 软件进行二次多元回归拟合,得到二次多元回归方程:

$$\Delta E^* = 62.86 + 2.74A + 2.88B + 0.88C + 0.17AB + 0.53AC - 0.66BC - 6.74A^2 - 4.52B^2 - 2.97C^2 \quad (2)$$

方差分析结果列于表 2。其中模型的 P 值为 $0.0053 < 0.05$, 表现为显著; 失拟项表现为不显著; 复相关系数为 0.9604, 接近 1, 表明模型的可靠程度较高; 用于评价每个平均偏离情况的离散系数仅为 3.16%, 表明模型的重复性较好。A、B、 A^2 、 B^2 、 C^2 为显著要素, 影响顺序为: $B > A > C$; AB、AC 和 BC 为不显著因素, 因此, 二次回归方程可简化为:

$$\Delta E^* = 62.86 + 2.74A + 2.88B - 6.74A^2 - 4.52B^2 - 2.97C^2 \tag{3}$$

表 2 试验结果的方差分析

Tab. 2 Analysis of variance for experimental results						
来源	平方和	自由度	均方	F 值	P-值	显著性
模型	414.61	9	41.40	13.47	0.0053	显著
A	60.01	1	60.01	19.52	0.0069	
B	66.41	1	66.41	21.62	0.0056	
C	6.12	1	6.12	1.99	0.2171	
AB	0.11	1	0.11	0.04	0.8560	
AC	1.14	1	1.14	0.37	0.5683	
BC	1.72	1	1.72	0.56	0.4886	
A^2	167.67	1	167.67	54.55	0.0007	
B^2	66.65	1	66.65	21.69	0.0055	
C^2	32.49	1	32.49	10.57	0.0227	
残差	15.37	5	3.07			
失拟项	14.65	3	4.88	13.60	0.0693	不显著
纯误差	0.72	2	0.36			

注: P -值 < 0.05 , 表明模型或考察因素有显著影响; P -值 < 0.01 , 为高度显著。

染液质量分数、染色温度与染色时间的交互作用, 对单板 ΔE^* 值影响的响应面分析如图 4 所示。由图 4 和回归方程可以看出: 三因素对单板 ΔE^* 均

有一定影响, 且回归方程中二次项的系数均为负值, 表明单板 ΔE^* 存在最优值。

图 4a 显示: 随着染液质量分数的增加, 染色温度的提高, 单板 ΔE^* 值均呈先增后降的趋势。在染色温度 70 °C 和染液质量分数 0.5% 附近, ΔE^* 值达到最大值。这是因为单板染色的过程是染料分子渗透、被吸着与聚集的过程, 染料的聚集体在木材中流动性差, 难以向细胞壁无定型区扩散^[2-3], 因此, 当染液质量分数较高时, 有可能减缓甚至阻止染料的扩散; 而升高温度, 能够在一定程度上增加染色体系的活化能, 使染料的渗透性增强。但过高的温度会加速染料的水解, 导致单板 ΔE^* 值降低。

由图 4b 可见, 随着染色时间的延长, 温度的提高, ΔE^* 值先增后降, 在 4 h 和 70 °C 附近达到最大值。这是因为提高染色温度和延长染色时间, 能提升染料分子的扩散速度, 降低染料的聚集程度, 进入木材内部的染料分子增多, 故 ΔE^* 值逐渐变大; 但高温条件下染料易分解, 又导致 ΔE^* 值降低。

图 4c 表明染色时间 4 h 和染液质量分数 0.5% 附近, ΔE^* 值达到最大值。这是因为染色是一个吸附过程, 首先发生在单板表面, 继而通过细胞腔和胞间隙等大孔隙系统向内部扩散和渗透, 所以随着染色时间的延长和染液质量分数的增加, 单板色差值增加; 但在一定条件下单板对染料的吸附量有限, 当达到饱和时, 即使增加染液的质量分数、延长染色时间, 单板的色差也难以改变。而较长的染色时间易引起染料的水解和氧化, 故单板 ΔE^* 值反降低。

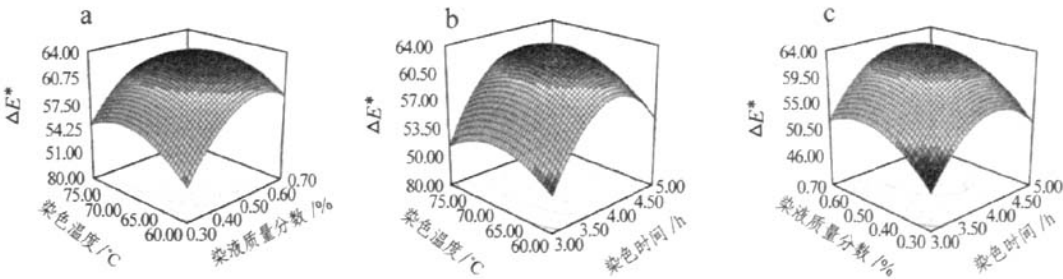


图 4 染色温度、染液质量分数和染色时间对单板色差值的影响

Fig. 4 Veneer color difference surface response curve under different dyeing temperatures, dye mass concentrations, and dyeing times

2.2.3 因素优化与验证

通过分析得出杨木单板染色的优化工艺条件为: 染液质量分数 0.54%、染色时间 4.20 h、染色温度 72.00 °C。应用方程求解得单板的色差的理论值为

63.60 NBS; 验证试验实测的单板色差值为 62.54 NBS。两者十分接近, 说明采用 RSM 法优化得到的染色工艺可靠。

(下转第 28 页)

3 我国木质材料 DOL 效应标准概况

GB 50005-2003《木结构设计规范》规定了常用的国产结构用木材的强度等级和设计值,其中设计值的推导考虑了木材的持续负载影响,规定:无论受力种类是压、拉、弯、剪,长期受荷时(50 年),木材强度折减系数皆为 0.72;并且,针对 5 种不同的使用条件,提出了木材强度设计值的调整系数,见表 1。依据该标准,对仅有恒荷载,或恒荷载产生的内力超过全部荷载所产生的内力的 80%时,单独以恒荷载进行验算;而当若干条件同时出现时,应联乘各系数。

表 1 不同使用条件下木材强度设计值和弹性模量的调整系数

Tab. 1 Wood strength adjustment factors under different conditions

使用条件	调整系数	
	强度设计值	弹性模量
露天环境	0.9	0.85
长期生产性高温环境,木材表面温度达 40~50℃	0.8	0.8
按照恒载验算时	0.8	0.8
用于木构筑物时	0.9	1.0
施工和维修时的短暂情况	1.2	1.0

以木构筑物承受恒载为例,强度设计值的调整系数为: $0.8 \times 0.9 = 0.72$;再考虑长期受荷强度折减系数 0.72,则木构筑物构件的 DOL 因子为: $0.8 \times 0.9 \times 0.72 = 0.52$ 。而根据 Madison 曲线计算,持续负载时间为 50 年时,木材持续负载影响系数为 0.59。依据 GB 50005-2003 计算得出的 DOL 因子相对较低,说明我国标准的规定相对保守。

4 结语

在经济全球化的强力推动下,进口木结构建筑逐渐进入我国的主要消费城市,一些国产木质材料也已经用于木结构中。我国对木质材料的 DOL 效应研究尚属空白,亦未制定测试和评价木质材料的持续负

载行为的标准。为保证木质材料作为结构用材的科学设计和安全使用,需要加快 DOL 效应研究和标准的制定工作,从而推进结构用木质材料的科学设计和安全使用。

参考文献:

[1] Gerhards C C. Time-related effects on wood strength; a linear cumulative damage theory [J]. Wood Sci, 1979, 11(3):139-144.

[2] Wood L W. Relation of strength of wood to duration of load [R]. Madison: USDA Forest Serv, Forest Prod Lab, 1951.

[3] Barrett J D, R O Foschi. Duration of load and failure probability in wood Part 1: Modeling creep rupture [J]. Canadian J of Civil Engineering, 1978, 5(4):505-514.

[4] Barrett J D, R O Foschi. Duration of load and failure probability in wood. Part 2: Constant, ramp, and cyclic loading [J]. Canadian J. of Civil Engineering, 1978, 5(4):515-532.

[5] Foschi R O, Yao Z C. Another look at three duration of load models [C]// Proc., XVII IUFRO Congress. Florence, 1986.

[6] National Design Specification for Wood Construction [M]. Washington D C: American Forest and Paper Association, 2005.

[7] Gerhards C C, Link C L. A cumulative damage model to predict load duration characteristics of lumber [J]. Wood Fiber Science, 1987, 19(2): 147-164.

[8] Cai Zhiyong, Rosowsky D V, Hunt M O. Comparison of actual vs. simulated failure distributions of flexural wood specimens subject to 5-day load sequences [J]. Forest Products Journal, 2000, 50(1): 74-80.

[9] Rosowsky D V, Fridley K J. Directions for duration-of-load research [J]. Forest Products Journal, 1995, 45(3):85-88.

[10] Karacabeyli E, Lawrence A S. State-of-the-art report on duration of load research for lumber in north America [C]// Proc., of the 1991 International timber engineering conference. London: TRADA, 1991: 4. 141-4. 145.

[11] Gupta R. System behavior of wood truss assemblies [J]. Progress in Structural Engineering and Materials, 2005, 7(4): 183-193.

(责任编辑 向琴)

(上接第 17 页)

3 结论

- 1) 采用酸性染料对速生杨木单板染色,染液质量分数对单板式色差有较大影响,染色时间次之。
- 2) 通过响应面分析所建立的二次回归方程,可优化染色工艺和预测染色效果。本试验条件下的优化染色工艺为:染液质量分数 0.5%,染色时间 4.2 h,染色温度 72℃,杨木单板 ΔE^* 值为 62.54 NBS。

参考文献:

[1] 张洋,安霞,周兆兵. 速生杨木染色效果的色差分析[J]. 林业科技开发, 2007, 21(1): 25-27.

[2] 彭万喜,李凯夫,何嘉凤,等. 尾巨桉仿黑胡桃的染色工艺研究[J]. 木材加工机械, 2005(2): 15-18.

[3] 陈玉和,陆仁书,郑睿贤,等. 泡桐单板染色工艺参数的遴选[J]. 东北林业大学学报, 2002, 30(1): 10-12.

(责任编辑 向琴)