

木材弦切面宏观构造图案的色度学研究

徐丽, 王昕怡, 管雪松, 朱南峰, 徐长妍, 李大纲
(南京林业大学, 南京 210037)

摘要: **目的** 探寻 12 个树种材色在 $L^*a^*b^*$ 色空间及孟塞尔色空间的分布特征, 同时, 根据参与者对树种材色的美学评价得分进行色彩主观评价。**方法** 采用 CR-5 色度仪, 对 12 个木材试样的表面色彩进行色度学参数研究, 同时应用 SPSS 对色彩三要素和美学评价数据进行统计与分析。**结果** 木材试样的材色大多分布在 5.40 YR~9.95 YR 区域, 处于黄红色系, 呈现暖色, 给人以“温暖”和“亲切”之感。**结论** 建立了美学评价与材色明度之间的正相关关系模型, 对寻求可替代的室内装饰用材具有一定参考价值。

关键词: 木材弦切面; 宏观构造图案; 色度学

中图分类号: TS206 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2020)05-0242-08

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.05.035

Chromaticity of Macro-structural Patterns of Wood Tangential Section

XU Li, WANG Xin-yi, GUAN Xue-song, ZHU Nan-feng, XU Chang-yan, LI Da-gang
(Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

ABSTRACT: The work aims to explore the distribution characteristics of 12 tree species' color in $L^*a^*b^*$ color space and Munsell color space. In the meantime, a subjective color evaluation was conducted according to the aesthetic evaluation scores of tree species color given by the participants. The surface color of 12 wood samples was studied by CR-5 colorimeter, and the three color elements and aesthetic evaluation data were analyzed by SPSS. The color of wood samples mostly distributed in the 5.40 YR-9.95 YR region was yellow-red, showing warm color and giving people a sense of "warmth" and "cordiality". The positive correlation model between aesthetic evaluation and word color brightness is established. It has certain reference value for seeking alternative interior decoration materials.

KEY WORDS: wood tangential section; macro-structural patterns; chromaticity

木材材色的多样性和变异性使得木材的色彩表征和测定变得十分复杂。随着色度学的发展, 材色的表征逐步完善。木材表面视觉物理量由木材的材色参数、光泽度参数等与人类视觉相关并可定量测量表征的物理量所组成, 是木材表面性质中的重要特征^[1], 因此, 木材表面色彩的测定是评价木材质量、决定木材产品价值的一个重要指标, 对木质产品的加工生产

具有重要意义。

国外学者对木材表面色彩的测定进行了较多的研究。1970 年, Nelson N.D.^[2] 等对几种澳大利亚木材心材的颜色进行了测量和表征。1983 年, Phelps J.E.^[3] 等对不同地域生产的 4 批黑核桃树单板进行了材色测量。2014 年, Lorenz Breinig^[4] 等对于 300 个样本利用聚类分析, 提出了一组基于特征模式变量的分类方

收稿日期: 2019-07-24

基金项目: 2017 年江苏省高校哲学社会科学研究基金 (2017SJB0127); 2019 年教育部人文社会科学研究一般项目 (19YJC760132)

作者简介: 徐丽 (1979—), 女, 博士, 南京林业大学讲师, 主要研究方向为木材美学、包装交互设计、快递包装。

法,并且采用这种基于变量的分类方法可以很好地进行视觉外观分类。2017 年,Meints 等^[5]对 24 种欧洲木材用 CIEL*a*b*色彩系统进行了分光光度法测量,表明不同木材种类具有不同的颜色变化。佐道健^[6]给出了世界各地 150 种树种彩色的 L*a*b*色空间和孟塞尔色空间的测量值,并采用直角坐标向极坐标转换和多元回归分析方式,探讨了 L*a*b*色空间的色度指数测量值向孟塞尔空间转化的简便方法,取得了孟塞尔色空间的色度学参数明度 V 、色调标号值 H 和色饱和度 C 的表达式。

国内学者也进行了相关的研究。1990 年,张翔等^[7]把 22 种国产木材的颜色进行测定,分析了木材表面的反射率曲线,比较了树种间和树种内的材色差异,对 22 种树种的数据采用主成分分析,获得了综合材色实验基础表达式。2008 年,杨少春^[8]研究了木材表面颜色模式的识别方法。2012 年,何拓、罗建举等^[9]剖析了 20 种红木类木材的视觉物理量的分布特征和相关关系。相对于国外,我国木材材色定量测定相对较晚。

虽然木材表面颜色研究较多,但是对常见室内家居材色区域值的测量、统计和分析还很少。文中对常见 12 种家居材色特征进行定量表征研究,希望获得更多有关木材宏观纹理色彩的感知信息。

1 实验

1.1 材料

实验材料由南京林业大学材料科学与工程学院

木材科学系标本实验室提供。选取 12 种常用室内装饰木材作为测量试样。其中,针叶材试样编号为 1—3: 1 为樟子松、2 为北美黄杉、3 为杉木。阔叶材试样编号为 4—12: 4 为香樟、5 为柚木、6 为紫椴、7 为白榆、8 为蒙古栎、9 为水曲柳、10 为亮叶桦、11 为巴里黄檀、12 为大叶桦(见图 1)。室温条件下气干试样(120 mm×70 mm×12 mm,并将其被侧面(分为正反两面,分别标记为 A, B, 见图 2)精刨加工平整,然后置于温度 20 °C、相对湿度为 65%的恒温恒湿箱中,将含水率调整到 14%。

1.2 参与者

邀请南京林业大学不同学院不同专业的学生 70 名(20±2),男女比例 1:1。首先,进行视力和色盲测试,满足裸眼或矫正视力不低于 4.8、不散光、无色觉障碍的参与者才可进行木材美学评分实验,确保后期数据的真实可靠。

1.3 实验仪器

采用柯尼卡美能达台式色彩色度仪(CR-5, Japan)测量木材材色的 L*a*b*值。采用模拟 D65 标准光源进行测试,反射条件为漫射照明 8°,视场角为 8°。测量孔直径为 $\varnothing 30$ mm,测量时间约 1 s(见图 3)。

1.4 实验方法

采用 CR-5 色差仪对试样的颜色进行定量测量。在进行试样测量时,采用多点多次测量取平均值的方法,对每个试样的被侧面(每个试样分为正反两面,

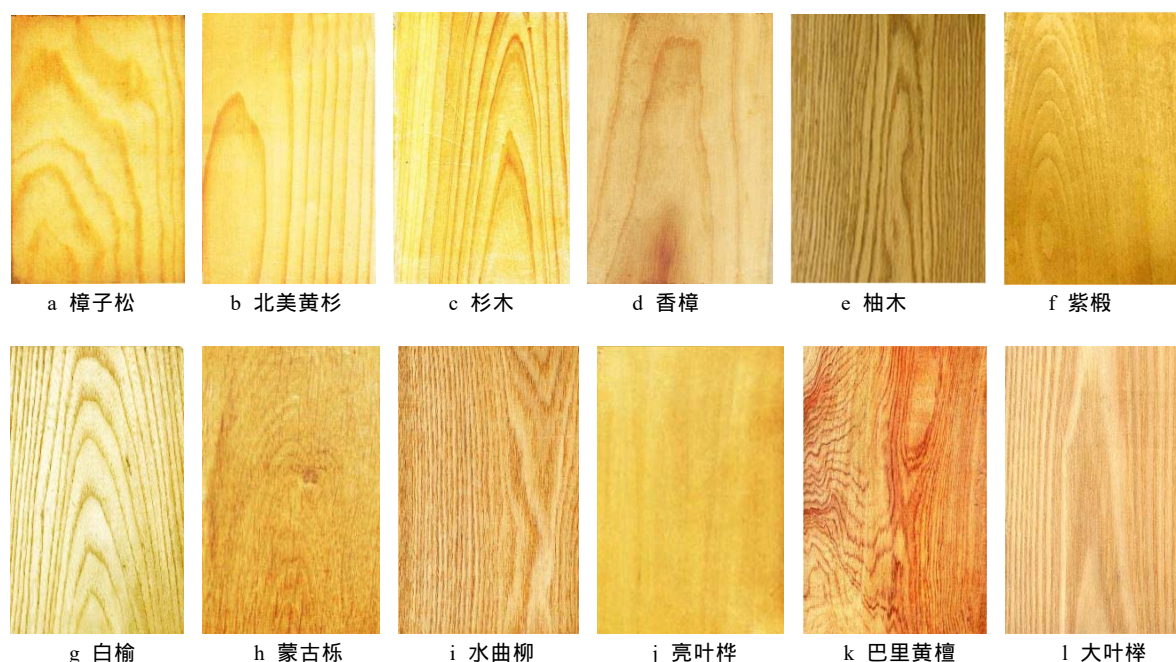


图 1 12 种木材试样弦切面宏观构造图案

Fig.1 Macro-structural patterns of the tangential sections of 12 wood samples



图 2 试样木块
Fig.2 Wood sample



图 3 CR-5 色度仪
Fig.3 CR-5 colorimeter

即 AB 面), 进行多点多次, 即取 12 点, 每个点测 3 次, 取其平均值作为试样的测量值。最后, 测定值为每块试样的测量值取平均值。

木材的颜色表征方法有 2 种^[10]。一种是国际照明委员会 (Commission Internationale de l'Eclairage) 提出的 $L^*a^*b^*$ 表色系, 即 CIE (1931), 采用 XYZ 三刺激值计算 $L^*a^*b^*$ 值。其中, L^* 表示明度, a^* 表示红绿色品指数, b^* 表示黄蓝色品指数。另一种是孟塞尔表色系, 该法有 3 个指标: 色相 (H)、明度 (V)、

彩度 (C), 表示为 HV/C 。1980 年, 增田稔等对木材色相进行研究得出: 木材色相主要分布在 2.5 ~ 9.0R (浅橙黄—灰褐色), 以 5 ~ 10YR (橙黄色) 居多。由 CR-5 色差仪可以直接得到待测试样表面色彩的 CIE $L^*a^*b^*$ 颜色空间色度值, 其中, L^* 为明度值, a^* 为红/绿值, b^* 为黄/蓝值。

采用佐道健^[6]、雷亚芳^[11]等方法, 将所得到的 $L^*a^*b^*$ 颜色空间色度值向孟塞尔色空间值进行转换, 转换公式见式 (1—3)。

$$H = -0.03636L^* + 0.02663r - 14.3\theta + 0.09131r\theta + 14.826 \quad (1)$$

$$V = 0.1002L^* - 1.16 \quad (2)$$

$$C = 0.1439r + 1.054\theta - 1.022\theta^2 + 0.497r\theta - 0.167 \quad (3)$$

式中: $\theta = \arctan\left(\frac{a^*}{b^*}\right)$, $r = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$; V 为明度

值; H 为色相标号值 (色相); C 为纯度/彩度 (色饱和度); r 和 θ 为转换中使用的中间变量。 H 是以 YR 为基准的数量化标号值, 当其值在 0~10 的范围之内时, 色相可表示为 HYR (例如 5.6YR); 当数值超过上述范围时, 采用如下方式表示 (该转换公式适用于常见木材的 YR 色系): 当 $-10 < H < 0$ 时, 色相标号为 $(H+10)R$; 当 $10 < H < 20$ 时, 色相标号为 $(H-10)Y$; 当 $20 < H$ 时, 色相标号为 $(H-10)GY$ 。

2 结果与分析

2.1 测量数据

12 个木材试样被侧面在 $L^*a^*b^*$ 色度空间和孟塞尔色度空间的测量值见表 1—2。

表 1 12 个试样色度参数的 A 面测量值

Tab.1 Tested values of 12 sample chromaticity parameters in side A

样号	树种类别	L*a*b*色度空间			孟塞尔色度空间					
		L*	a*	b*	H		V		C	
					平均值	变化范围	平均值	变化范围	平均值	变化范围
1	樟子松	68.43	10.84	30.67	9.32YR	9.10 ~ 9.51YR	5.7	5.53 ~ 5.83	5.31	5.13 ~ 5.44
2	北美黄杉	64.1	10.62	27.65	8.99YR	8.75 ~ 9.34YR	5.26	5.11 ~ 5.41	4.91	4.8 ~ 4.98
3	杉木	64.3	7.91	29.43	0.27Y	9.95YR ~ 0.34Y	5.29	5.15 ~ 5.38	4.83	4.7 ~ 4.97
4	香樟	66.55	7.45	23.46	9.36YR	8.47 ~ 9.94YR	5.51	5.07 ~ 5.75	3.98	3.75 ~ 4.29
5	柚木	49.75	10.73	24.85	8.9YR	8.78 ~ 9.06YR	3.82	3.65 ~ 4.08	4.54	4.05 ~ 4.65
6	紫椴	76.47	6.86	23.37	9.25YR	9.17 ~ 9.33YR	6.5	6.40 ~ 6.59	3.9	3.77 ~ 4.10
7	白榆	65.69	8.99	23.58	8.75YR	8.54 ~ 8.94YR	5.42	5.11 ~ 5.57	4.22	4.07 ~ 4.39
8	蒙古栎	52.17	8.14	23.52	9.57YR	9.36 ~ 9.62YR	4.07	4.01 ~ 4.12	4.05	3.95 ~ 4.13
9	水曲柳	60.99	9.31	24.07	8.88YR	8.71 ~ 9.02YR	4.95	4.90 ~ 5.03	4.27	4.08 ~ 4.44
10	亮叶桦	71.93	7.76	18.5	7.74YR	7.36 ~ 7.92YR	6.04	5.88 ~ 6.13	3.37	3.29 ~ 3.51
11	巴里黄檀	53.51	12	16.76	6.27YR	5.40 ~ 7.32YR	4.04	3.77 ~ 4.28	3.92	3.74 ~ 4.44
12	大叶桦	55.23	13.35	27.15	8.29YR	8.09 ~ 8.49YR	4.38	4.28 ~ 4.44	5.15	4.62 ~ 5.49

注: L^* 为明度值; a^* 为红/绿轴色度值; b^* 为黄/蓝轴色度值

表 2 12 个试样色度参数的 B 面测量值
Tab.2 Tested values of 12 sample chromaticity parameters in side B

样号	树种类别	L*a*b*色度空间			孟塞尔色度空间					
		L*	a*	b*	H		V		C	
					平均值	变化范围	平均值	变化范围	平均值	变化范围
1	樟子松	68.48	11.03	32	9.51YR	9.38 ~ 9.64YR	5.7	5.55 ~ 5.86	5.5	5.40 ~ 5.61
2	北美黄杉	64.23	10.7	29.28	9.31YR	9.20 ~ 9.45YR	5.28	5.08 ~ 5.45	5.11	4.94 ~ 5.37
3	杉木	63.03	7.99	27.88	0.05Y	9.92YR ~ 0.15Y	5.16	5.09 ~ 5.24	4.62	4.59 ~ 4.72
4	香樟	60.87	9.79	23.6	8.81YR	7.52 ~ 9.79YR	4.94	4.26 ~ 5.38	4.26	3.89 ~ 4.63
5	柚木	49.22	11	24.87	8.84YR	8.76 ~ 9.04YR	3.77	3.73 ~ 3.81	4.57	4.48 ~ 4.68
6	紫椴	76.26	6.92	23.02	9.17YR	9.04 ~ 9.28YR	6.48	6.36 ~ 6.56	3.86	3.71 ~ 4.06
7	白榆	65.93	8.94	23.16	8.67YR	8.53 ~ 8.81YR	5.45	5.05 ~ 5.70	4.11	3.98 ~ 4.21
8	蒙古栎	52.15	8.25	23.59	9.57YR	9.50 ~ 9.64YR	4.07	4.01 ~ 4.12	4.08	4.10 ~ 4.17
9	水曲柳	56.72	9.98	25.35	9.07YR	9.00 ~ 9.15YR	4.52	4.42 ~ 4.59	4.51	4.42 ~ 4.61
10	亮叶桦	74.84	6.99	18.08	8.34YR	7.84 ~ 8.22YR	6.34	6.17 ~ 6.48	3.23	3.16 ~ 3.29
11	巴里黄檀	50.36	13.42	18.71	6.09YR	5.42 ~ 7.33YR	3.88	3.61 ~ 4.09	4.12	3.41 ~ 4.63
12	大叶榉	54.83	13.33	26.59	8.26YR	8.16 ~ 8.40YR	4.33	4.26 ~ 4.47	5.07	4.53 ~ 5.35

注：L*为明度值；a*为红/绿轴色度值；b*为黄/蓝轴色度值

2.2 12 个木材试样表面色彩的 L*a*b*空间分布特征

木材表面试样 A, B 面在 L*a*b*色度空间 (CIE 1973) 和孟塞尔色度空间的测量值见表 1—2。为了能够更加直观地了解木材弦切面宏观表面材色在三维度色系空间的区域分布, 将 12 个树种试样材色的测量值用平面投影图方式见图 4—5。试样 A 和 B 两测试面的材色明度指数 L*、色度学指数 a*和 b*的统计分布见图 6, 可以直观观察材色参数的分布特征。

在图 4 和图 5 中, 散点图分别表示试样 2 个测试面的宏观颜色测量值 Z 在 a*b*平面 (横坐标 a*, 纵坐标 b*)、L*a*平面 (横坐标 L*, 纵坐标 a*) 和 L*b*平面 (横坐标 L*, 纵坐标 b*) 的分布。从图 4 和图 5 可见, 12 种木材材色的米制色度指数 b*在 18.08 ~ 32 的范围变化, 米制色度指数 a*在 6.86 ~ 13.42 的范围变化, 米制明度指数 L*在 49.22 ~ 76.47 的范围变化。可见, 同个试样的 2 个面还是有细微的差别, 主要由于木材生长的各向异性和变异性所决定的。采用等

级差分方法对试样材色的每项色度学指标进行分级统计分析, 由图 6 可知, 明度指数 L*大多分布在 50 ~ 70 范围内, 红/绿轴色度指数 a*主要分布在 6 ~ 12 范围内, 黄/蓝轴色度指数 b*主要分布在 20 ~ 30 范围内。由于 a*的正值越大, 越偏红色, b*的正值越大, 越偏黄色。可见, 12 个试样树种都处在红、黄色系中。

2.3 12 个木材试样表面色彩的孟塞尔色空间分布特征

12 种树种试样材色测量值在孟塞尔色空间的分布见图 7—8。图 7—8 中的色相值 H 采用的是数值表示形式, H 为 0 ~ 5, 5 ~ 10 的范围对应于 1YR ~ 5YR, 5YR ~ 10YR^[12]。可见, 12 个树种试样的区间范围为 5.40YR ~ 9.95YR。这些木材材色均位于黄红色系, 呈现暖色, 也正是它们能产生“温暖”和“亲切”感的重要原因^[13]。也有例外, 比如杉木, 其材色分布于 Y 区间, 区间范围为 0.21Y ~ 0.30Y, 这是因为杉木边材呈现浅黄褐色, 表明针叶材树种多分布在高明度范围^[7,10,14]。

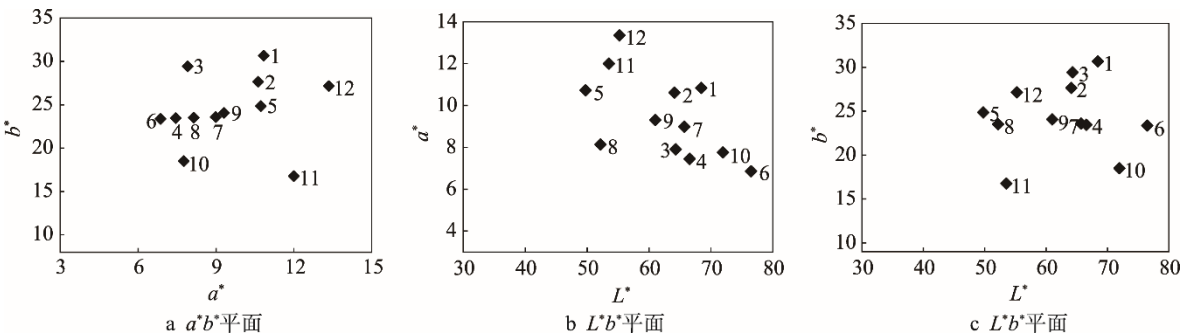


图 4 12 个试样材色的 L*a*b*色空间分布特征 (A 面)
Fig.4 L*a*b* color space distribution characteristics of 12 samples (side A)

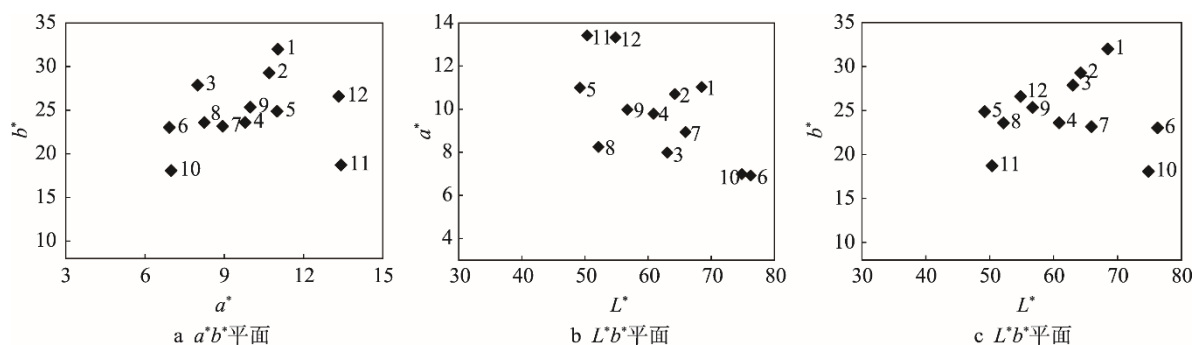
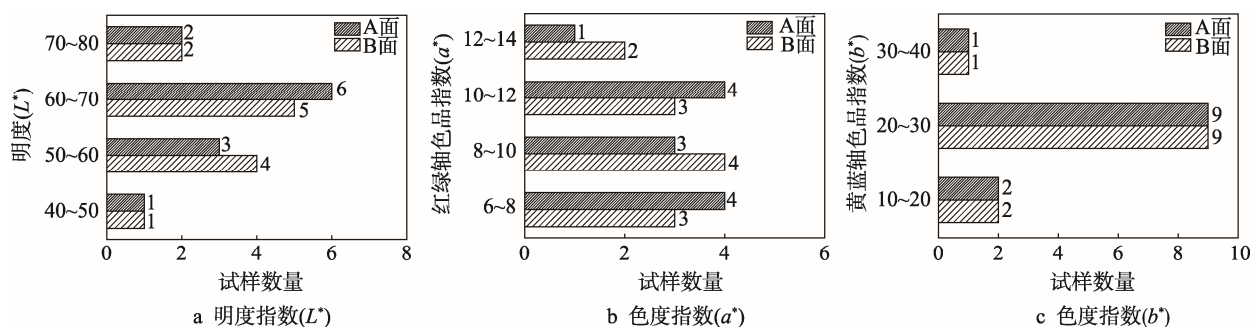
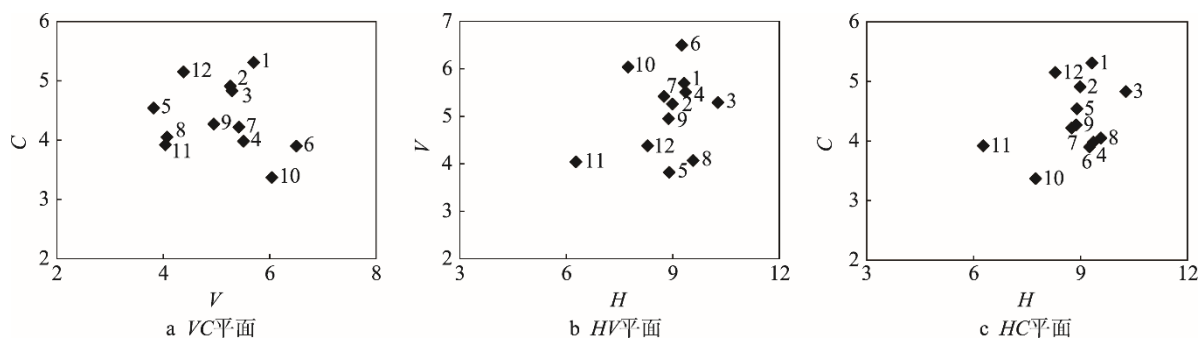
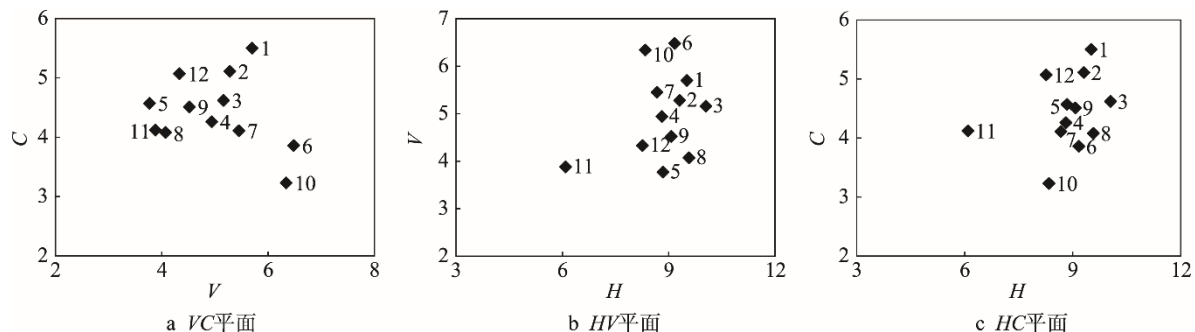
图5 12个试样材色的 $L^*a^*b^*$ 色空间分布特征(B面)Fig.5 $L^*a^*b^*$ color space distribution characteristics of 12 samples (side B)图6 12个试样的明度指数(L^*)、色度指数(a^* , b^*)的统计分布(A&B面)Fig.6 Statistical distribution of lightness index (L^*) and chromaticity indexes (a^* , b^*) of 12 samples (side A & B)

图7 12个试样材色孟塞尔色空间参数的分布特征(A面)

Fig.7 Distribution characteristics of Munsell color space parameters of 12 samples (side A)

图8 12个试样材色的 H, V, C 孟塞尔色空间分布特征(B面)Fig.8 Distribution characteristics of H, V and C Munsell color space of 12 samples (side B)

12个树种木材试样的色彩三要素分布见图9—11。根据孟塞尔表色系统^[15],一般将纯度(C)指数范围0~4规定为灰,即低纯度,范围为5~8规定为

中,即中纯度,范围为9~12规定为鲜,即高纯度;明度(V)指数范围0~3.9规定为低明度,范围4~6.9为中明度,范围7~9为高明度^[16]。从图9—11中可

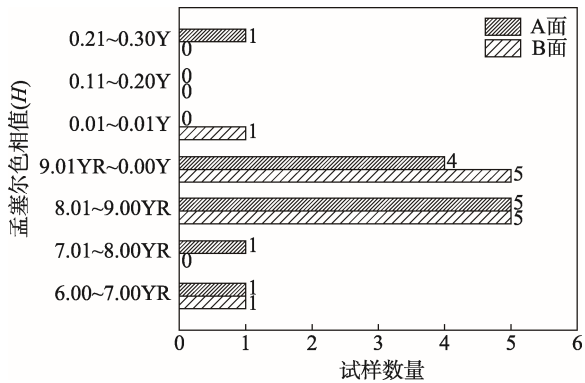


图 9 12 个试样材色的孟塞尔色相值(H)的统计分布 (A & B 面)

Fig.9 Statistical distribution of Munsell hue value (H) of 12 samples (side A & B)

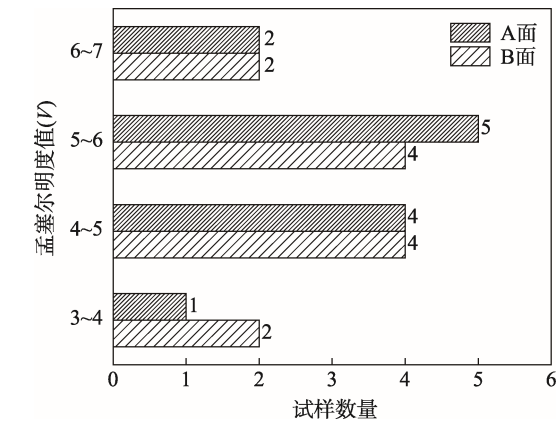


图 10 12 试样材色的孟塞尔色明度值 (V) 的统计分布 (A & B 面)

Fig.10 Statistical distribution of Munsell lightness value (V) of 12 samples (side A & B)

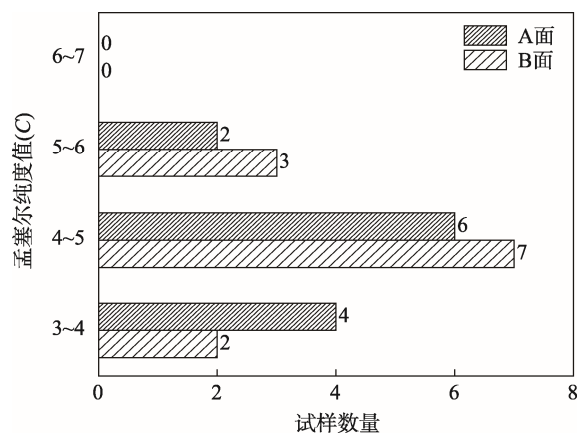


图 11 12 个试样材色的孟塞尔色纯度值 (C) 的统计分布 (A & B 面)

Fig.11 Statistical distribution of Munsell purity value (C) of 12 samples (side A & B)

见,在 12 个树种中,试样处在高明度 6~8 范围内的树种是紫椴和亮叶桦,属于 YR 色系,为低纯度,纯度范围为 3~4;大多试样处在中明度 4~6 范围中,多数属于 YR 色系,只有杉木属于 Y 色系中,主要为

中纯度,纯度范围为 4~6;试样处在低明度 3~4 范围中是柚木,YR 色系的多见中纯度,纯度范围在 4~5。综上所述,针叶材樟子松、北美黄杉和杉木的明度值都在 5.0 以上,属于 YR 色系中,其中杉木明度最高为 5.29,属于 Y 色系中,与刘一星等^[17]得出的针叶材树种大多具有较高的明度和偏重于明度较高的色调结论相一致。

3 基于色彩三要素的美学评价预测模型的构建

利用 PASW Statistics 22.0 软件,将 12 个树种试样的色相值、明度值和纯度值作为自变量,与参与者对树种材色的美学评价得分(评分为 1—10 分,1 分最低,10 分最高)进行方差分析,并采用逐步回归方法建立回归模型见表 3—6。

表 3 方差齐性检验 Tab.3 Variance homogeneity test				
色彩三要素因子	F 值	df ₁	df ₂	显著性
色相	6.765	9	710	0.000
明度	1.053	9	710	0.396
纯度	1.552	9	710	0.126

表 4 方差分析 Tab.4 Analysis of variance						
来源	因变数	第Ⅲ类平方和	df	平方和	F 值	显著性
美学评价	色相	28.502	9	3.167	2.985	0.002
	明度	37.608	9	4.179	6.364	0.000
	纯度	6.374	9	0.708	1.813	0.063

从表 3 可知,明度和纯度方差齐性验证的 Sig.值均大于 0.05 (0.396, 0.126),故接受原假设。从表 4 可知,明度的 Sig.值小于 0.05 (Sig.值为 0.000),说明明度对美学评价的影响显著。

表 5 变异系数分析 Tab.5 Analysis of variation coefficient						
编号	模型	平方和	df	平均值平方	F 值	显著性
1	回归	182.766	1	182.766	41.746	0.000
	残差	3143.434	718	4.378		
	总计	3326.200	719			
2	回归	272.741	2	136.370	32.022	0.000
	残差	3053.459	717	4.259		
	总计	3326.200	719			

从表 5 可知,统计量 F=41.746,T 检验的显著性 Sig.值小于 0.01,说明变量明度与主观美感评价之间

存在线性回归关系。从表 6 可见, 线性回归方程:

$$Y = 2.339 + 0.602X_1 \quad (4)$$

式中: Y 为参与者的主观美感评价分值; X_1 为明度值。

表 6 回归系数分析
Tab.6 Analysis of regression coefficient

编号	模型	非标准化系数		标准化系数	T 值	显著性
		B	标准错误	Beta		
1	常数	2.339	0.478		4.897	0.000
	明度	0.602	0.093	0.234	6.461	0.000
2	常数	-0.661	0.805		-0.821	0.412
	明度	0.696	0.094	0.271	7.392	0.000
	纯度	0.577	0.126	0.168	4.596	0.000

从回归方程 $Y=2.339+0.602X_1$ 可见, 参与者的审美评分与色彩三要素的明度有密切关系, 从系数可知, 两者呈现正相关, 即明度值越高, 参与者的审美评分越高。李小晓^[18]认为心理感觉随着明度值的升高而增大, 明度高的木材使人感到明快、华丽、整洁、高雅和舒畅; 明度低的木材使人有深沉、稳重、肃雅之感。表明材色明度值的改变对人们心理感觉产生影响。这充分说明木材的视觉心理量与木材材色物理量有着密切的关系。参与者对木材表面材色进行评价时, 他们更注重明度, 而对于色相和纯度未呈现显著的相关性。结合色彩三要素—美学评价的拟合散点图 (见图 12) 特征, 可以发现回归方程的拟合度较高, 这表明实验所得到的回归方程具有一定的指导性, 采用明度指标对木材材色的主观美学评价进行预测是可行的。

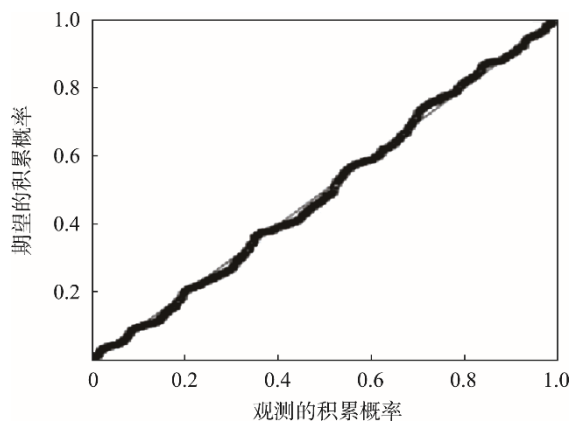


图 12 色彩三要素与美学评价拟合散点

Fig.12 Fitting scatter plot of three color elements of and aesthetic evaluation

4 结语

采用 CR-5 色度仪对所选取的 12 个试样表面色彩

进行颜色参数的测定, 同时对其在 $L^*a^*b^*$ 色空间上的分布特征以及孟塞尔色值 H, C, V 的空间分布特征进行了统计分析, 结果分析发现不仅是 $L^*a^*b^*$ 色度值, 还是孟塞尔空间色度值均分布在一个比较集中的区域, 即 5.40YR ~ 9.95YR。

美学评价与材色的明度呈现正相关关系。在测定的区域色彩范围内, 明度越高, 人们对该树种越喜欢, 文中分析表明, 回归方程具有一定的指导性。

参考文献:

- [1] 刘一星. 木材视觉环境学[M]. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 1994: 1.
LIU Yi-xing. Wood Visual Environment[M]. Harbin: Northeast Forestry University Press, 1994: 1.
- [2] NELSON N D, HEATHER W A. Quantitative Color Values of the Heart wood of Various Australian Species[J]. Australian Forestry, 1970, 34(4): 275—280.
- [3] PHELPS J E, MCGINNES E A J, et al. Growth-Quality Evaluation of Black Walnut Wood. Part II--Color Analyses of Veneer Produced on Different Sites[J]. Wood and Fiber Science, 1983(15): 2.
- [4] LORENZ B, RAINER L, OLOF B. Classification of Wood Surfaces According to Visual Appearance by Multivariate Analysis of Wood Feature Data[J]. Journal of Wood Science, 2015, 61(2): 89—112.
- [5] MEINTS T, TEISCHINGER A, STINGL R. Wood Colour of Central European Wood Species: CIELAB Characterisation and Colour Intensification[J]. European Journal of Wood and Wood Products, 2017, 75(4): 499—509.
- [6] 佐道健. 从仪器测量值到视觉值的换算: 从 $L^*a^*b^*$ 表色系到曼氏变换[J]. 木材工业, 1985(40): 16—20.
SAO Dao-jian. Conversion from Measured Values to Visual Values: $L^*a^*b^*$ Conversion from Surface System to Mansell[J]. Wood Industry, 1985 (40): 16—20.
- [7] 张翔. 木材材色的定量表征[J]. 林业科学, 1990(26): 4.
ZHANG Xiang. Quantitative characterization of Wood Color[J]. Forestry Science, 1990(26): 4.
- [8] 杨少春. 木材表面颜色模式识别方法的研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2008: 3—7.
YANG Shao-chun. Study on the Pattern Recognition Method of Wood Surface Color[D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2008: 3—7.
- [9] 何拓, 罗建举. 20 种红木类木材材色和光泽度研究[J]. 林业工程学报, 2016(2): 44—48.
HE Tuo, LUO Jian-ju. Study on the Color and Gloss of 20 Kinds of Mahogany Wood[J]. Journal of Forestry Engineering, 2016(2): 44—48.
- [10] 孙启祥, 张齐生, 彭镇华. 不同颜色地板的视觉特性研究[J]. 安徽农业大学学报, 2004, 31(4): 431—434.
SUN Qi-xiang, ZHANG Qi-sheng, PENG Zhen-hua.

- Visual Characteristics of Different Color Floors[J]. Journal of Anhui Agricultural University, 2004, 31(4): 431—434.
- [11] 雷亚芳, 赵芳, 张远群. 非洲 5 种家具用木材的材质鉴定及材色探讨[J]. 西北林学院学报, 2010, 25(3): 175—178.
LEI Ya-fang, ZHAO Fang, ZHANG Yuan-qun. Identification of Wood Species and Color of Five Kinds of Furniture Wood in Africa[J]. Journal of Northwest Forestry College, 2010, 25(3): 175—178.
- [12] 王文彬. 103 种家具表面色彩的视觉物理量测定及色彩心理学特性的分析[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2001: 20.
WANG Wen-bin. Visual Physical Measurement and Psychological Characteristic Analysis of 103 Furniture Surface Colors[D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2001: 20.
- [13] 王晗. 木材表面纹理模式识别方法的研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2008: 1.
WANG Han. Study on the Recognition Method of Wood Surface Texture Patterns[D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2008: 1.
- [14] 刘一星, 李坚, 徐子才. 我国 110 个树种木材表面视觉物理量的综合统计分析[J]. 林业科学, 1995, 31(4): 354—355.
LIU Yi-xing, LI Jian, XU Zi-cai. Comprehensive Statistical Analysis of Wood Surface Visual Physical Quantities of 110 Tree Species in China[J]. Forestry Science, 1995, 31(4): 354—355.
- [15] 冯洁. 从 1931CIEXYZ 颜色空间到孟塞尔颜色空间的转换[D]. 昆明: 云南师范大学, 2008: 5—7.
FENG Jie. Conversion from 1931 CIEXYZ Color Space to Munsell Color Space[D]. Kunming: Yunnan Normal University, 2008: 5—7.
- [16] 李亨. 颜色技术原理及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 1994: 1—70.
LI Heng. Principle and Application of Color Technology[M]. Beijing: Science Press, 1994: 1—70.
- [17] 刘一星, 于海鹏, 赵荣军. 木质环境学[M]. 北京: 科学出版社, 2007: 10—35.
LIU Yi-xing, YU Hai-peng, ZHAO Rong-jun. Wood Environment[M]. Beijing: Science Press, 2007: 10—35.
- [18] 李小晓. 泡桐木材质的视觉特性在家具设计的应用[J]. 包装工程, 2009, 30(8): 109—110.
LI Xiao-xiao. The Application of Visual Properties of Paulownia Wood in Furniture Design[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(8): 109—110.