

博物馆照明对苏木染色丝绸的影响研究

徐方圆¹, 吴来明¹, 施超欧², 贺冰²

(1. 馆藏文物保存环境国家文物局重点科研基地(上海博物馆), 上海 200231; 2. 华东理工大学, 上海 200237)

摘要: 苏木是古代常见的一种红色植物染料,为了从保护角度探讨苏木染色丝绸的照明需求,研究了博物馆照明常用的 LED 灯、卤素灯、荧光灯对它的褪色影响,从光照与其他环境因素入手,尝试构建了针对苏木染色丝绸的“变色因子”指标。研究结果显示,LED 的“变色因子”大于传统的卤素灯与荧光灯的,低色温照明的“变色因子”略小于高色温照明的;照度越高,“变色因子”越大;其他环境因素对“变色因子”也有很大影响。因此针对苏木染色丝绸文物的展陈照明,建议选用卤素灯或低色温的荧光灯和 LED 灯,并应控制展陈照明的照度。同时展陈环境中的其他环境因素也不容忽视。研究结果为指导博物馆在对苏木染丝绸文物的照明选择方面提供了依据,同时为客观评价各种环境因素对染色丝绸的影响提供一种可借鉴的方法。

关键词: 博物馆照明; 苏木; 染色丝绸; 褪色; 变色因子

中图分类号: G264 **文献标识码:** A

0 引言

中国古代人民尚红、爱红,给予红色一定的特殊感情,因此红色植物染料在古代被大量运用和开发。苏木、红花、茜草是典型的红色植物染料。其中以苏木染色技法便于操作,色彩艳丽丰富、价格实惠而被广大劳动人民所钟爱,在红色植物染料中具有非常重要的作用^[1]。苏木属于苯并吡喃类天然染料,其色素的主要成分是苏木素,苏木素结构中含有大量羟基,易溶于水,相对分子质量较小,染色直接性低,色牢度差,且在不同的 pH 值条件下有变色行为,呈现黄棕、红褐、紫等颜色,其染色织物的稳定性较差^[2]。

流传下来苏木染的织物在博物馆展出的时候必定会受到光照的影响。光照是引起文物发生劣化的重要环境因素之一^[3]。如何选择博物馆照明,有效减少光照对文物的损伤是文物预防性保护的重要内容。从文物保护角度出发,影响光照对文物损伤的光照指标主要有照度、累积照度、色温和光源的发光光谱^[4]。在 GB/T 23863—2009《博物馆照明设计规范》^[5]中对这些指标均有一些规定。用植物染料染色的丝织物是属于对光特别敏感的一类文物,在《博物馆照明设计规范》中要求其照度 < 50lx,累积照度 < 50000lx · h/年,色温 < 3300K。光源的种类

是影响光源发光光谱的重要因素,博物馆陈列照明中主要的光源种类有荧光灯、卤素灯和 LED 灯。由于各种光源的发光原理不同,其发光光谱有很大的差别,对文物的损伤程度也有差异^[4]。已有一些研究表明,目前新型的 LED 灯对染色丝绸的影响大于传统的卤素灯^[4,6,7]。但这些研究均只是从定性的角度做了一些判断,还缺少定量的分析。

为科学评价光照对植物染色丝绸的影响,本研究以苏木染丝绸为例,以色差为评价指标,尝试量化分析各种光照条件对苏木染丝绸的褪色影响。为指导博物馆在对苏木染丝绸文物的照明选择方面提供依据,同时为客观评价各种环境因素对染色丝绸的影响提供一种可借鉴的方法。

1 实验样品及方法

1.1 实验样品

丝绸坯布为杭州米赛丝绸有限公司市售电力纺,委托中国丝绸博物馆,按古代传统方法用苏木染色^[7]。经色差仪检测,各种染色样品的色彩均匀度较高,色差 $\Delta E < 0.5$ 。按实验要求,将样品裁剪成多块 5cm × 5cm 的小块,并标记正反面备用。

1.2 实验装置

本实验中搭建的光模拟老化装置与《从光谱角

收稿日期:2016-06-02;修回日期:2016-09-07
基金项目:国家文物局文物保护科学和技术研究课题资助(20120206)
作者简介:徐方圆(1980—),男,2005 年硕士毕业于南京航空航天大学材料学专业,副研究馆员,研究方向为文物保护科学,E-mail:
xu_fangyuan@163.com

度研究博物馆照明对染色丝绸的影响》^[4]文中的一致,选用的具规格型号如表 1 所示。除荧光灯外,本实验所用灯具均可以无级调光。

表 1 实验灯具

Table 1 Experiment lamp

序号	品牌	名称
1	ERCO	ogotec 轨道射灯 (LED 12W 3000K)
2	ERCO	ogotec 轨道射灯 (LED 12W 4000K)
3	Ultras	Original 轨道射灯 (LED15W3000K)
4	Ultras	Original 轨道射灯 (LED15W4000K)
5	Ultras	Circle 轨道射灯 (QT 100W 卤素灯)
6	OSRAM	14W 荧光灯 3000K
7	OSRAM	14W 荧光灯 4000K

1.3 检测仪器

色差仪,CM-700d,柯尼卡美能达日本。分光照度计,CL-500A,柯尼卡美能达日本。数字照度计,XYI-Ⅲ,杭州新叶。

1.4 实验步骤

调整灯光亮度,用数字照度计检测样品所受到的照度值;用色差仪定期检测样品,分别检测各样品的色差。为了减少试验的误差,每次测试时样品下垫一张 80g/m² 的 A4 空白纸张,每个样品选不同的检测位置测 3 次取平均值。

本实验在七个实验装置中进行了六批次的实验。每个装置中的灯具不同,每批次实验样品的照度也不同。通过色差指标,研究了不同照度下,不同光源对苏木染色丝绸样品的褪色影响。

2 结果与讨论

2.1 苏木染色丝绸的褪色特性

苏木染色丝绸在各种实验灯光下的变色曲线如图 1 所示。由图 1 可见,随着实验时间的延长,样品的色差基本呈线性增加。

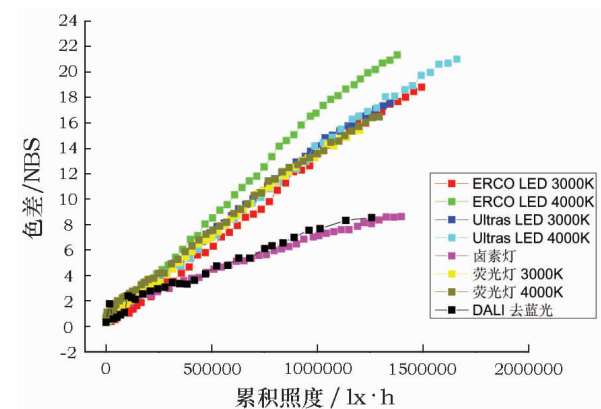


图 1 苏木染色样品在各种灯光下的变色情况

Fig.1 Color difference of caesalpinia sappan dyed sample

结合苏木染色样品的光反射率曲线(图 2),红色曲线是光照前样品的,蓝色曲线是光照后样品的。由图 2 可见光照前后虽然样品的色差变化比较明显,但是其光反射率曲线并没有太明显变化,只是在 450 ~ 600nm 的波段反射率略有上升。从光谱角度考虑,被反射的光被人眼接受,形成颜色;被吸收的光中波长较长的部分以热量形式散发到环境中,而其中波长较短的部分则参与染料的褪色反应。由于苏木染料在褪色前后反射率曲线变化不大,因此只要外界光源的光谱稳定,被吸收的能量就变化不大。如果其他实验环境条件也稳定,则其褪色曲线则会如图 1 所示呈现线性增加的趋势。

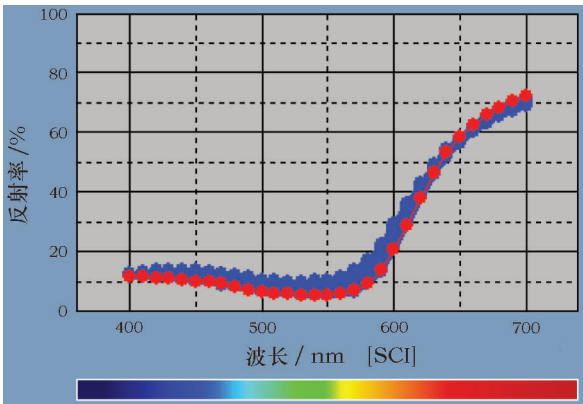


图 2 苏木染色样品光反射率曲线

Fig.2 Reflectance curve of caesalpinia sappan dyed sample

2.2 苏木样品变色因子的理论构建

由上述讨论可知,苏木染料的褪色随实验时间的延长而线性增加。从理论上说,实验开始时色差为零,因此该曲线应该过原点。变色曲线的斜率则是实验环境条件对苏木染色丝绸褪色的速度。本研究中定义样品的“实验时间-色差”曲线的斜率为样品的变色因子 D 。针对苏木染色样品,在实验条件恒定的情况下,该变色因子基本为一定值。变色因子数值小,则说明该实验条件对样品的损伤小,有利于样品的保护。

色差 = $D \times$ 实验时间 (1)

变色因子 D 受实验过程中各种环境因素的综合影响。在本研究中重点关注光照对样品的褪色影响,因此在不考虑光照与其他环境因素之间的耦合作用的前提下,将该变色因子分拆成光照影响因子和其他环境因素影响因子两部分。变色因子表达式如式(2)所示。

$D = L + H$ (2)

式中, D 为变色因子; L 为光照引起的变色因

子; H 为其他环境因素引起的变色因子。

其他环境因素主要包括温湿度,污染气体等。在本实验中,所有实验装置均放置在同一间实验室内,每次实验过程中各实验装置中的其他环境因素基本一致,仅光照情况有明显的不同;但每批次之间环境因素会有所差异。因此针对上式,其他环境因素引起的变色因子 H 可以假定每批次一致,但批次与批次之间是有差异的。

根据倒易律,文物由于光照所产生的劣化影响与其所接受的累积照度有关,即与其照度与时间的乘积正相关,则光照引起的变色因子 L 可表示为:

$$L=A\times E$$

(3)

式中, L 为光照引起的变色因子; A 为光谱系数; E 为照度(lx)。

由式 3 可知,照度越高,则变色因子越高。式中的系数 A 可以认为是与光谱辐照相关的数据。灯光发出的光谱一部分被物体反射,进入人眼,形成颜

色,另一部分则被物体吸收,产生褪色等一系列的化学反应。对于苏木染色的丝绸样品,由于其在褪色过程中光反射率曲线基本不变,因此在本次实验中系数 A 可以认为是只与光照的发光光谱有关的数据。不同的灯具有不同的发光光谱,因此本实验中系数 A 仅与灯具有关。

图 3 是各种实验灯光的光谱图,每种灯光光谱曲线下的面积即为其发射的总能量。通过物体的反射率曲线可计算出灯光发出的光照射到物体上后被物体吸收的能量,该能量与其照度成正比。针对苏木染色丝绸样品,可以得出每勒克斯照度下被样品吸收的能量(单位吸收能量)。由于光的粒子性,长波长的光子能量较低,被样品吸收后只能起到加热的作用,并不会发生化学反应;而短于某一波长的光子则都能被用来发生化学褪色反应。对于某一特定的褪色反应,这一特定波长可根据褪色化学反应的活化能计算出。如果知道该特定波长,即可得出每勒克斯的各种灯光对某一样品产生褪色的能量(单

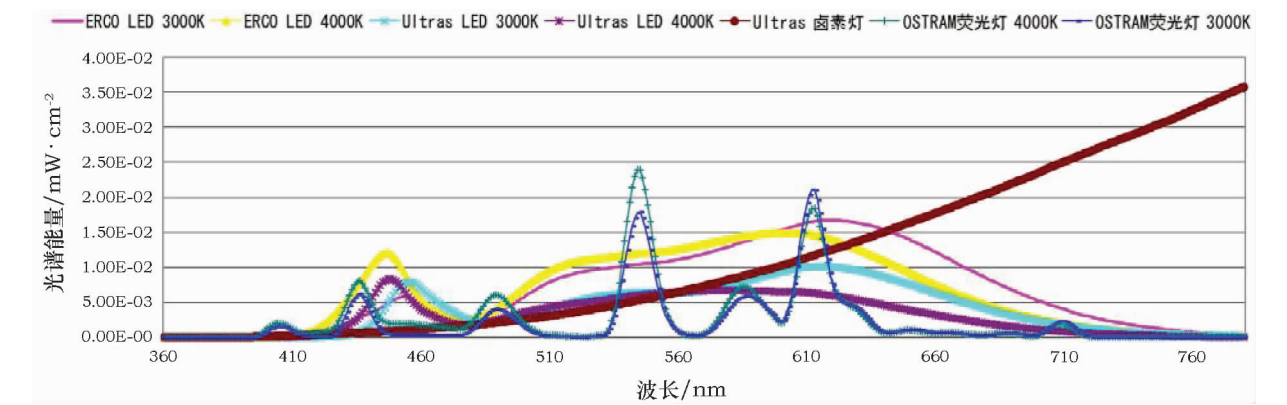


图 3 实验用各种灯光的光谱图
Fig.3 Spectra for experiment

位反应能量)。该能量与式 3 中的光谱系数有一定的正相关性。

不同样品由于其特定波长不同,反射率曲线也不同,因此会有不同的光谱系数。针对苏木染色丝绸样品,假设其特定波长为 580nm ,则计算得到的各种实验灯光的单位吸收能量和单位反应能量如表 2 所示。

从表 2 中可以看出,虽然卤素灯单位吸收能量最大,但其单位反应能量最低;其他灯光的单位吸收能量基本相当;但低色温的灯光其单位反应能量较低。

2.3 各种实验条件下苏木样品的变色因子分析

本实验在七个不同的实验装置中进行了六批次的实验。根据实验结果,做出“实验时间 - 色差”曲

线,用过原点的线性拟合,计算出各种实验条件下的变色因子。实验结果如表 3 所示。

表 2 各种灯光的单位吸收能量与单位反应能量
Table 2 Unit energy absorption and reaction energy of different lamp

灯具种类	单位吸收能量/ $\text{mW}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1}$	单位反应能量/ $\text{mW}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1}$
ERCO LED 3000K	2.40×10^{-3}	1.21×10^{-3}
ERCO LED 4000K	2.41×10^{-3}	1.49×10^{-3}
Ultras LED 3000K	2.42×10^{-3}	1.30×10^{-3}
Ultras LED 4000K	2.45×10^{-3}	1.59×10^{-3}
Ultras 卤素灯	3.13×10^{-3}	1.20×10^{-3}
OSRAM 荧光灯 3000K	2.22×10^{-3}	1.21×10^{-3}
OSRAM 荧光灯 4000K	2.40×10^{-3}	1.56×10^{-3}

表 3 不同实验条件下的变色因子

Table 3 Discoloration factors under different experimental conditions

		ERCO LED 3000K	ERCO LED 4000K	Ultras LED 3000K	Ultras LED 4000K	Ultras 卤素灯	OSRAM 荧光灯 3000K	OSRAM 荧光灯 4000K
第一批次	变色因子/h ⁻¹	6.31 × 10 ⁻³	8.18 × 10 ⁻³	7.57 × 10 ⁻³	8.49 × 10 ⁻³	5.15 × 10 ⁻³	5.15 × 10 ⁻³	6.59 × 10 ⁻³
	照度/lx	1468	1551	1880	2160	2058	714	807
第二批次	变色因子/h ⁻¹	9.10 × 10 ⁻³	9.30 × 10 ⁻³	8.50 × 10 ⁻³	9.22 × 10 ⁻³	6.75 × 10 ⁻³	4.88 × 10 ⁻³	5.61 × 10 ⁻³
	照度/lx	4140	2530	2780	3530	2590	639	711
第三批次	变色因子/h ⁻¹	1.03 × 10 ⁻²	1.20 × 10 ⁻²	9.93 × 10 ⁻³	1.18 × 10 ⁻²	5.23 × 10 ⁻³	8.72 × 10 ⁻³	9.45 × 10 ⁻³
	照度/lx	790	729	711	878	739	635	684
第四批次	变色因子/h ⁻¹	7.07 × 10 ⁻³	7.08 × 10 ⁻³	7.05 × 10 ⁻³	6.77 × 10 ⁻³	3.38 × 10 ⁻³	6.03 × 10 ⁻³	6.40 × 10 ⁻³
	照度/lx	341	348.7	342.7	347.7	357	290.3	350.7
第五批次	变色因子/h ⁻¹	5.65 × 10 ⁻³	6.13 × 10 ⁻³	5.33 × 10 ⁻³	5.69 × 10 ⁻³	5.54 × 10 ⁻³	2.80 × 10 ⁻³	2.64 × 10 ⁻³
	照度/lx	1774	1742	1778	1831	1591	243	319
第六批次	变色因子/h ⁻¹	9.48 × 10 ⁻³	—	1.04 × 10 ⁻²	—	4.73 × 10 ⁻³	—	6.57 × 10 ⁻³
	照度/lx	523	—	1161	—	822	—	273

由上所述可知,影响变色因子的因素有光源种类不同引起的光谱系数差异,照度以及其他环境因素。以下分别对其影响情况作一些分析。

2.3.1 光源种类的影响 由表 3 可知,第三批次实验和第四批次实验中各种灯光的照度基本一致,因此其变色因子主要由各种灯光的光谱差异造成。在第三批次实验中,变色因子从小到大依次为 Ultras 卤素灯 < OSRAM 荧光灯 3000K < OSRAM 荧光灯 4000K < Ultras LED 3000K < ERCO LED 3000K < Ultras LED 4000K < ERCO LED 4000K。在第四批次实验中,变色因子从小到到的顺序为 Ultras 卤素灯 < OSRAM 荧光灯 3000K < OSRAM 荧光灯 4000K < Ultras LED 3000K ≈ ERCO LED 3000K ≈ Ultras LED 4000K ≈ ERCO LED 4000K。由此可知,在相同的照度下,传统的卤素灯、荧光灯对苏木染色丝绸的褪色影响小于 LED 灯;同类型的灯具中较低色温的灯光变色因子小。

从变色因子的具体数值比较,计算同批次中各种灯光的变色因子与卤素灯变色因子的比值,结果如表 4 所示。

LED 灯的变色因子是卤素灯的 2 倍,荧光灯的变色因子略小于 LED。由于色温差异引起的变色因子差异较小。以上的实验结论与表 2 中各种灯光的单位反应能量一致,较好地解释了各种灯光光谱不同对样品褪色的影响。

第一、二、五、六批次实验中,荧光灯的照度明显偏低,但其余灯光的照度基本接近。比较其变色因子可知,大部分 LED 的变色因子大于卤素灯的变色因子,但第五批次实验中两者的差异不大;

低色温 LED 的变色因子小于高色温 LED 的变色因子。

表 4 各批次实验中变色因子与同批次 Ultras 卤素灯变色因子的比值

Table 4 The ratio of discoloration factors in every batch experiments with Ultras halogen lamps at the same experiment batch

	第三批次	第四批次
ERCO LED 3000K	1.97	2.09
ERCO LED 4000K	2.29	2.09
Ultras LED 3000K	1.90	2.09
Ultras 卤素灯	1.00	1.00
Ultras LED 4000K	2.26	2.00
OSRAM 荧光灯 3000K	1.67	1.78
OSRAM 荧光灯 4000K	1.81	1.89

2.3.2 照度的影响 由表 3 可知,第一、二、三批次实验中荧光灯的照度基本一致,第四、五、六批次实验中荧光灯的照度也基本一致。因此,将各种灯光的变色因子与同批次内 OSRAM 荧光灯 4000K 的变色因子作比较,得出两者之间的比值,结果如表 5 所示。

第三、四批次实验中各种灯光的照度基本一致,此时卤素灯的变色因子是荧光灯的一半,而 LED 的变色因子略高于荧光灯的变色因子。比较其他批次实验,卤素灯的变色因子与 4000K 荧光灯的变色因子的比值均大于 0.7;第二批次卤素灯的照度是荧光灯的 3 倍多,其变色因子的比值达到了 1.2;第五批次卤素灯的照度是荧光灯的 5 倍多,其变色因子

表 5 各批次实验中变色因子与同批次 OSRAM 荧光灯 4000K 变色因子的比值

Table 5 The ratio of discoloration factors in every batch experiments with OSRAM fluorescent lamps 4000K at the same experiment batch

	第一批次	第二批次	第三批次	第四批次	第五批次	第六批次
ERCO LED 3000K	0.96	1.62	1.09	1.10	2.14	1.44
ERCO LED 4000K	1.24	1.66	1.27	1.11	2.32	—
Ultras LED 3000K	1.15	1.52	1.05	1.10	2.02	1.58
Ultras LED 4000K	1.29	1.64	1.25	1.06	2.16	—
Ultras 卤素灯	0.78	1.20	0.55	0.53	2.10	0.72
OSRAM 荧光灯 3000K	0.78	0.87	0.92	0.94	1.06	—
OSRAM 荧光灯 4000K	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

的比值超过了 2。LED 变色因子与 4000K 荧光灯变色因子的比值也同样有类似规律,即照度越高,其变色因子越大,这与变色因子的理论推导相一致。

2.3.3 其他环境因素的影响 其他环境因素对变色因子的影响比较复杂,本次实验中没有专门对其他环境因素进行有效控制,因此也无法得到确切的数值。但是通过批次之间变色因子的比值也能得到一些定性的结论。

由表 3 可以注意到第一、二、三批次中荧光灯的照度基本一致;第四、五、六批次中荧光灯的照度也基本一致,且是第一、二、三批次的一半。同种光源,相同照度下,其变色因子的差异主要来自于其他环境因素的影响。由于第五批次实验中荧光灯的变色因子总体较低,将各批次中荧光灯的变色因子与第五批次荧光灯变色因子作比较,得出两者之间的比值,结果如表 6 所示。

表 6 各批次实验中荧光灯的变色因子与第五批次荧光灯变色因子的比值

Table 6 The ratio of fluorescent lamps' discoloration factors in every batch experiments with the fifth experiment batch

	第一批次	第二批次	第三批次	第四批次	第五批次	第六批次
OSRAM 荧光灯 3000K	1.84	1.74	3.11	2.15	1.00	—
OSRAM 荧光灯 4000K	2.50	2.13	3.58	2.42	1.00	2.49

由表 6 可知,第一、二、三批次间荧光灯的变色因子相差不超过 2 倍,而四、五、六批次中荧光灯的变色因子相差均超过了 2 倍。这说明其他环境因素对变色因子影响明显,在低照度下其他环境因素对变色因子的影响要大于高照度下的影响。在高照度下光照是主控环境因素,而在低照度下,其他环境因素对变色因子的影响则变大。

3 结 论

综上所述,苏木染色丝绸在模拟光照实验中逐渐发生褪色反应,由于其褪色前后样品的反射率曲线相差不大,因此其色差-实验时间的曲线呈一次线性关系。本研究定义了该线性关系的斜率为变色因子,理论上分析了变色因子的影响因素。在本次实验中,光源种类、照度和其他环境因素对变色因子均有一定的影响。可以得出以下结论:

- 1) 从光源种类分析,卤素灯的变色因子最小,只有 LED 灯的一半;荧光灯的变色因子略小于 LED 灯;高色温灯光的变色因子高于低色温的变色因子。
- 2) 照度越高,其变色因子越高。

3) 其他环境因素对苏木染色丝绸样品的影响也不容忽视,在低照度下其他环境因素的影响明显高于高照度下其他环境因素的影响。

由上述结论,针对苏木染色丝绸文物的展陈照明可以提出如下建议:

- 1) 尽量采用卤素灯照明,如选用荧光灯或 LED 灯照明应选择低色温的。
- 2) 应尽量降低文物展陈的照度。
- 3) 不可忽略其他环境因素的影响,在控制展陈灯光照明的同时,对展陈环境的温湿度、污染气体等其他因素也要进行控制。

参考文献:

[1] 李祥芹. 古代红色丝绸植物染色——苏木染研究[D]. 北京: 北京服装学院, 2013.
Li Xiang-qin. Research on logwood dyeing - a kind of ancient red silk plant dyeing[D]. Beijing: Beijing Institute of Fashion Technology, 2013.

[2] 卢 声. 苏木天然染料染色柞蚕丝织物的色光稳定性研究[J]. 丝绸, 2013, 50(1): 14-18.
LU Sheng. Research on chromatic light stability of tussah silk fab-

rics dyed with natural dye sappan wood[J]. J Silk, 2013, **50**(1): 14-18.

[3] 陈元生, 解玉林. 博物馆文物保存环境质量标准研究[J]. 文物保护与考古科学, 2002, **14**(增刊): 152-191.
CHEN Yuan-shen, XIE Yu-lin. Studies on museum environmental standard[J]. Sci Conserv Archaeol, 2002, **14**(suppl): 152-191.

[4] 徐方圆, 吴来明, 徐雪萍, 等. 从光谱角度研究博物馆照明对染色丝绸的影响[J]. 文物保护与考古科学, 2016, **28**(1): 24-32.
XU Fang-yuan, WU Lai-ming, XU Xue-ping, et al. Research on the museum lighting for fade effect of dyeing silk by spectrum[J]. Sci Conserv Archaeol, 2016, **28**(1): 24-32.

[5] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 23863—2009, 博物馆照明设计规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.

General Administration of Quality Supervision, Standardization Administration of the People's Republic of China. Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, GB/T 23863—2009, Code for lighting design of museum[S]. Beijing: Standards Press of China, 2009.

[6] 徐雪萍. 天然植物染料染色丝织品文物的模拟光老化研究[D]. 上海: 华东理工大学, 2015.
XU Xue-ping. Research on analogued photo degradations of silk dyed by natural plant dyestuffs[D]. Shanghai: East China University of Science and Technology, 2015.

[7] 张殿波. 丝绸文物上植物染料的模拟光老化研究[D]. 浙江: 浙江理工大学, 2011.
ZHANG Dian-bo. Research on the simulation light aging for vegetable dyes on silk relics. [D]. Zhejiang: Zhejiang Sci-Tech University, 2011.

The effect of museum lighting on fading of *Caesalpinia sappan* dyed silk

XU Fang-yuan¹, WU Lai-ming¹, SHI Chao-ou², HE Bin²

(1. Key Scientific Research Base of the Museum Environment, State Administration for Cultural Heritage, Shanghai Museum, Shanghai 200231, China; 2. East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China)

Abstract: *Caesalpinia sappan* (sappan) is a commonly used ancient red vegetable dye. With the aim of protecting sappan wood dyed silk, the effect of light on fading was investigated by light aging tests. The lamps tested are those commonly used in museums, and include LED, fluorescent and halogen lamps. To evaluate the effects of both light and other environmental factors, a discoloration factor index system is established. The results show that the discoloration effect of LED lamps is greater than the effects of conventional halogen and fluorescent lamps; the discoloration effect of low color temperature is slightly less than that for high color temperature lighting; also the higher the illuminance, the bigger the discoloration effect. Other environmental factors also have a great influence on discoloration. The use of suitable halogen, or low color temperature fluorescent lamps and LED lighting for *Caesalpinia sappan* dyed silk showcases. The level of illumination of showcase lighting should be controlled. Meanwhile, other environmental factors in showcase can not be ignored.

Key words: Museum lighting; *Caesalpinia sappan*; Dyeing silk; Fade effect; Discoloration factor

(责任编辑 谢 燕)