

展陈照明光源光谱对光敏文物的辐照损伤研究

罗云¹, 刘显明¹, 张军², 李毅东², 周伟², 陈伟民¹

1. 重庆大学光电工程学院, 光电技术及系统教育部重点实验室, 重庆 400044
2. 中国四联仪器仪表集团有限公司, 重庆 400700

摘要 展陈照明中的光辐照会对光敏文物材料造成褪色、老化等辐照损伤, 尤其对字画、染色丝绸、彩绘陶器等颜色非常丰富、光敏性文物损伤巨大, 不利文物安全。国内外展陈照明标准为减少对文物的辐照损伤, 严格控制照明标准水平, 如光敏文物的照度仅 50lx, 不利于观众更加细致的欣赏这类文物。随着半导体光源 Light emitting diode (LED) 技术的发展, 其光谱中不含对文物损伤最大的紫外和红外波段, 与传统光源相比具有天然优势, 能够在相同照度条件下对文物产生更小的伤害。并使得在不增加对文物损伤的前提下, 提高照明环境亮度从而改善照明环境水平成为可能。然而, 即使仅有可见光光谱, 可见光光子能量仍会对材料造成不可逆的损伤。而 LED 光源光谱多样, 甚至有较大差异, 在 LED 光源大规模进入文物展陈照明领域时, 如何科学指导博物馆文物照明光源的研发与应用, 是改善文物展陈照明环境的关键问题。该研究对常见光敏文物材料进行可见光连续辐照下表面颜色属性变化的测量研究, 通过制备常用的国画颜料和植物染料样品(国画颜料主要有硃磬、赭石、三青、花青、胭脂、炭黑、曙红、酞青蓝; 植物染料主要有茜草、黄檗、栀子、靛蓝、槐米、苏木、紫草), 利用不同波长单色光 and 不同色温复合光的 LED 作为光源, 对样品进行大剂量连续辐照实验。辐照过程中, 定期测量材料表面颜色的色度学参数 L^* , a^* , b^* , 以 CIE 1976 $L^* a^* b^*$ 均匀色空间色差计算方法, 计算出不同光谱的 LED 光源辐照后样品的色差变化。再分别从辐射度和光度学出发, 对比分析具有不同光谱的 LED 光源对国画颜料和植物染料的长期辐照影响。实验结果表明: 不论从辐射度学还是光度学角度分析, 相同辐照剂量或曝光量照射后, 单色光中短波长的蓝光辐照导致样品的色差最大, 绿光次之, 红光最小; 而在复合光中, 高色温 LED 光源由于蓝光占比较大, 对样品的辐照影响明显高于低色温 LED 光源; 目前利用光照度对博物馆照明环境进行评价时, 由于蓝光对应的人眼视觉函数数值较低, 与辐射照度评价相比, 蓝光辐照对文物的影响会被进一步低估; 相同光照条件下, 植物染料的老化程度总体高于国画颜料; 黄色系的植物染料(黄檗、槐米)和红色系的国画颜料(硃砂、曙红)在光照过程中更易老化。因此, 博物馆展陈照明的 LED 光源应严格控制蓝光成分, 采用低色温的光源更有助于对文物的保护。在今后制定文物展陈照明标准时, 应对光源的蓝光占比进行限制。此外, 对于黄色系、红色系等光敏文物进行照明时, 相应的展陈照明标准应更为严格。该研究对于 LED 光源在博物馆照明更加合理的研发与应用, 以及未来博物馆展陈照明标准改进及照明条件改善具有重要指导意义。

关键词 文物照明; 国画颜料; 植物染料; 发光二极管辐照损伤; 可见光辐照

中图分类号: K854.3 **文献标识码:** J **DOI:** 10.3964/j.issn.1000-0593(2019)05-1610-08

引言

光辐照会对文物材料组分和表面颜色等属性造成影响, 损害其固有特征, 对文物安全不利^[1-5]。传统光源光谱包含可见光、紫外光和红外光波段, 其中紫外和红外部分对照明无贡献, 但对文物的损伤最大。紫外光因具有较高的能量,

能够断裂材料的化学键, 使材料发生光化学反应; 红外光由于热效应, 会导致文物材料中水分蒸发从而产生翘曲、龟裂, 加速文物的老化^[6]。因此博物馆照明光源中都会尽量消除紫外和红外光的影响。

在文物预防性保护工作中, 光辐照水平是需要被控制的主要环境参数之一, 包括照度、年曝光量和紫外辐射。现有的诸多国内外不同照明标准参数基本一致, 如我国国家标准

收稿日期: 2018-03-26, 修订日期: 2018-08-01

基金项目: 国家自然科学基金项目(61405019)资助

作者简介: 罗云, 1993年生, 重庆大学光电工程学院硕士研究生

e-mail: royluo@cqu.edu.cn

《博物馆照明设计规范》将照度按照材料对光的敏感程度分别设定为 50, 150 和 300 lx^[7]。而照度的大小直接影响着游客对于文物特征的观赏效果^[8]。

近年来,随着 LED 照明技术的不断发展,LED 光源已经遍及各个照明领域。其不包含对文物影响最大的紫外和红外波段,与传统光源相比具有天然优势,对文物影响更小^[9-11],是目前文物照明应用的最佳光源。与传统光源相比,理论上它可以在保持对文物同等损伤水平下实现照度的提高。而利用 LED 对博物馆绘画进行展览光照时,照度值在 200~800 lx 可以营造让游客更舒适的照明观赏环境^[8]。目前 LED 在文物照明中的应用研究已有部分报道,这些研究主要集中在定性对比分析 LED 与传统光源对文物材料的损伤影响^[3, 5, 12],以及从颜色色品中的主波长、兴奋纯度、亮度参数出发研究更适合于博物馆照明用 LED 光源的光谱对比^[13]。而仅针对在可见光光谱范围内定量分析辐照对不同文物材料的对比研究以及从辐射度学来分析不同可见光光谱对文物材料的影响研究鲜有报道。

本研究将针对不同种类的常见光敏文物材料进行可见光辐照下表面颜色属性变化测量,从辐射度学辐射照度和光度学光照度角度分析不同光谱对文物表面颜色属性的影响。为 LED 在博物馆照明科学合理的大规模应用提供参考。

1 实验部分

材料老化的最直观表现形式就是褪色,利用色差分析是文物保护性照明研究的主要方法之一。色差即两种颜色之间的差别,CIE 1976 L* a* b* 均匀色空间定义的色差计算公式如式(1)

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

其中: ΔE_{ab}^* 为样品色差; ΔL^* 为明度的测量值与初始值差值; Δa^* 为红绿的测量值与初始值差值; Δb^* 为黄蓝的测量值与初始值差值。

色差的产生可以从辐射照度积累和光照度积累两个角度进行分析。目前博物馆保护性照明研究一般都基于照度进行光照老化结果的分析,这是由于国家标准《博物馆照明设计规范》对光源的限制是从光度学角度考虑。而从辐射度学出发,光携带的能量作用于材料,使材料发生老化现象,是分析光辐照对文物材料影响更直接的方式。辐射照度($\bar{\phi}$)是指单位面积上光谱功率分布在波长域上的积分,即通过辐射能量的积累进行分析,其表达式如式(2)所示。光照度(ϕ)是光谱功率密度分布与人眼视觉函数的乘积在波长域的积分,即通过人眼视觉的角度进行分析(光照度和辐射照度的关系是在计算时是否引入人眼视觉函数的影响,因此辐射照度分析得出的结果更能够说明光源光谱本身对文物材料老化的影响),其表达式如式(3)所示

$$\bar{\phi} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} P(\lambda) d\lambda \quad (2)$$

$$\phi = k \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} P(\lambda) \delta(\lambda) d\lambda \quad (3)$$

其中: $P(\lambda)$ 为光谱功率密度分布函数; k 为比例常数; $\delta(\lambda)$

为人眼视觉函数。根据 $\delta(\lambda)$ 可知视觉函数值在 555 nm 处最大,在蓝光和红光波段函数值较小,这表明人眼对于绿光最敏感,对蓝光和红光相对不敏感。光功率密度相同时,由式(3)可知绿光照度最大,红光和蓝光的照度较小。

1.1 样品

《博物馆照明设计规范》中规定常见的光敏文物包括织绣品、绘画、彩绘陶器等。这类文物由于表面上色材料对光比较敏感,经光照之后易产生老化褪色,极大的降低了文物的价值。

实验选用的国画颜料主要包括:矿物颜料三青、硃磬、赭石;植物颜料花青、炭黑、胭脂;化工合成颜料曙红、酞青蓝;植物染料主要包括:茜草、黄檗、栀子、靛蓝、槐米、苏木、紫草。

传统的国画在作画时主要使用毛笔蘸取颜料进行绘画,但使用蘸取方式制备的样品均匀性难以保证,会对后期实验测量带来误差干扰。经过反复对比实验,笔者采用了过滤法进行样品制备,即使用滤纸垫在宣纸上,对颜料过滤,待颜料透过滤纸均匀的渗透扩散在宣纸上后,再去掉滤纸。图 1 为手绘法和过滤法制备的样品实物比较。

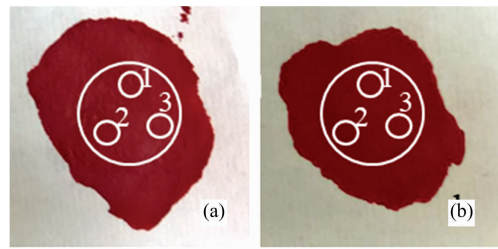


图 1 (a) 手绘法; (b) 过滤法制备的样品

Fig. 1 Samples made by (a) hand painting, (b) filtering

对两种方式制备的样品中心区域随机选择不同的 3 个位置测量色度学参数,并计算色差以对比两种方式的优劣,结果如表 1 所示。直接用毛笔涂画的平均色差约为 1.04,经滤纸过滤上色样品中心区域的平均色差约为 0.1,显然后者可以得到更优的色彩均匀性。通过过滤法制备的样品实物(样品的直径约为 1 cm)如图 2 所示。

表 1 中心区域色差

Table 1 Color difference of center area

方法	位置	L*	a*	b*	色差
手绘法	1	41.45	41.63	23.59	—
	2	41.91	40.82	23.14	1.03
	3	42.05	40.82	23.29	1.05
过滤法	1	42.17	41.9	23.88	—
	2	42.13	41.96	23.93	0.09
	3	42.17	41.79	23.85	0.11

植物染料样品是将草本植物通过传统古法在桑蚕丝上染制而成的^[3],染制的主要流程如图 3 所示。实验染制的植物染料样品实物如图 4。

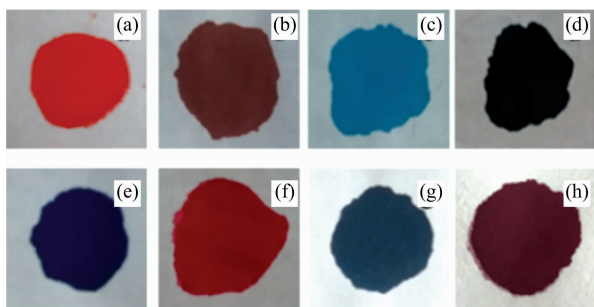


图 2 国画颜料样品

(a): 硃磬; (b): 赭石; (c): 三青; (d): 炭黑;
(e): 酞青蓝; (f): 曙红; (g): 花青; (h): 胭脂

Fig. 2 Samples of Chinese painting pigments

(a): Cinnabar; (b): Ochre; (c): Azurite; (d): Charcoalblack;
(e): Phthalo blue; (f): Eosine; (g): Galloicyanine; (h): Rouge

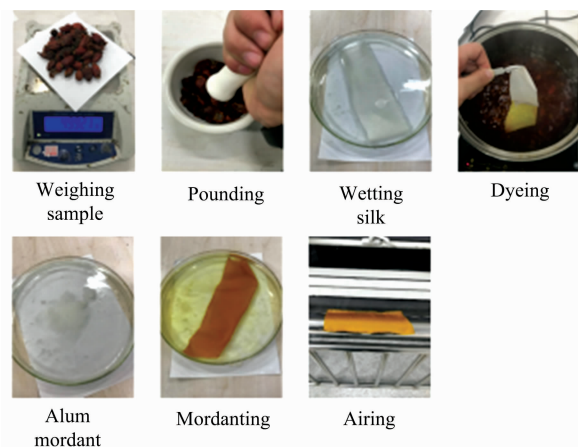


图 3 植物染料染色流程

Fig. 3 Dyeing process of plant dyestuffs

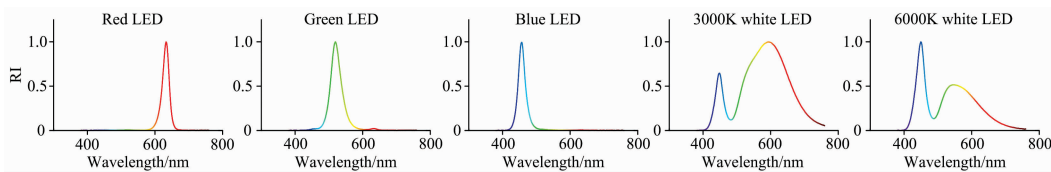


图 5 实验光源光谱

Fig. 5 Spectrum diagram of experiment light sources

为消除自然光对实验的影响,实验系统在暗室中搭建,利用支架将 LED 光源固定,用玻璃制作样品盒盛放样品,模拟博物馆中的展陈状态,防止灰尘以及其他环境因素的影响。实验过程中保持暗室温度在 20 °C,并采用温度传感器实时监测环境温度。实验系统如图 6 所示。

表 2 是测量的样品受照面上的光功率密度和光照度,由于光源光谱不同,而实验时各光源与样品的距离相同,导致受照面照度有所区别。从表中可以看出,单色光中蓝光的光功率密度最大,约为其他两种单色光的二倍,但照度最低,与其他两种单色光相差约一个数量级。

整个连续光照实验过程每天同一时间使用色差仪对样品

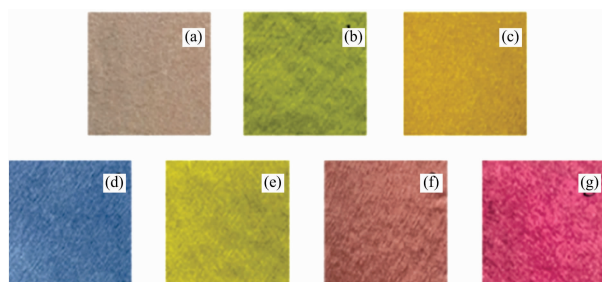


图 4 植物染料样品

(a): 茜草; (b): 黄檗; (c): 栀子;
(d): 靛蓝; (e): 槐米; (f): 苏木; (g): 紫草

Fig. 4 Samples of plant dyestuffs

(a): Madder; (b): Amur corktree; (c): Cape jasmine; (d): Indigo blue; (e): Sophora japonica; (f): Sappanwood; (g): Puccoon

1.2 光源与实验系统

实验将利用具有不同可见光光谱的 LED 光源对样品进行高强度辐照,获得样品经大曝光量辐照之后的色差变化规律,从而研究分析不同光谱的可见光对文物材料的老化影响规律。

采用红、绿、蓝三种单色光光谱 LED 以及色温分别为 6 000 和 3 000 K 的全光谱 LED 共计五种 LED 光源,以对比不同光谱 LED 对文物材料的影响,各光源的光谱如图 5。由于 LED 是点光源,LED 灯具是由多颗 LED 组成的阵列光源,且灯珠间距较大,每颗灯珠都是单独的反光杯,当样品和光源距离较近时,受照面的光照均匀性较差。经测量在离光源 15 cm 的位置,光照均匀性(受照面上直径为 10 cm 的区域中最小照度/最大照度)约为 0.9,此距离时光照均匀性较好,国画颜料光照实验选用 15 cm 作为光照距离。植物染料由于样品尺寸较大,光照时为获得合适面积的受照面光照均匀性,样品与光源的距离更远,约为 22 cm。

同一位置测量五次取平均值获得色度学参数 L^* , a^* , b^* , 并计算其色差,进行结果分析。

3 结果与讨论

在光照老化实验分析中,主要以曝光量作为分析条件。曝光量的定义为 $\varphi = \phi t$ (ϕ 为照度; t 为照射时间; 曝光量单位: $\text{lx} \cdot \text{h}$)。目前普遍认为:相同光谱时,对材料损伤影响的主要参数是总曝光量,即以任意照度进行辐照,只需达到相同的总曝光量,光照的损伤作用就是相同的,这被称为倒易定律^[4]。

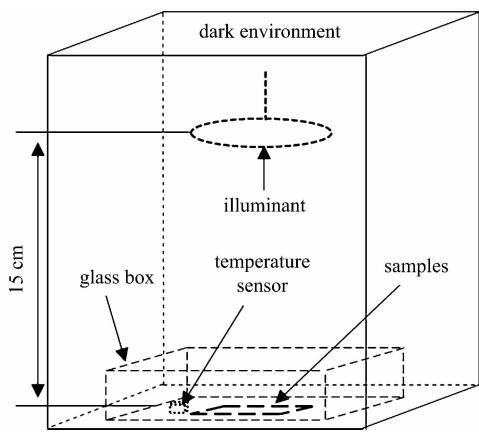


图 6 光照老化实验系统

Fig. 6 Experimental system of irradiation aging

表 2 受照面光功率密度及光照度

Table 2 Optical power density and illuminance of illuminated surface

光源	国画颜料		植物染料	
	功率密度/ ($\text{mW} \cdot \text{cm}^{-2}$)	照度/ ($\times 10^4 \text{ lx}$)	功率密度/ ($\text{mW} \cdot \text{cm}^{-2}$)	照度/ ($\times 10^4 \text{ lx}$)
6 000 K	45.3	9.6	1.6	0.44
3 000 K	21.3	5.6	4.17	1.36
红光	12.4	2	8.2	1.60
绿光	14.9	6.6	7.3	3.37
蓝光	27.6	0.24	14.6	0.1

实验结束时，与总曝光量等效的国标照度光照时间可以直接用以评价光谱对文物材料老化的影响大小。实验光源由于光谱不同，最后的总曝光量也会不一样，由倒易定律，按照博物馆国标照度进行换算，等效光照时间也会不同。换算结果中等效光照时间最短、损伤最大的光谱即是最不利于博物馆照明的光谱，在设计应用于博物馆的 LED 光源时，必须减少这些波段的含量。表 2 中实验照度与国标照度 50, 150 和 300 lx 的关系结果如表 3 所示。

不同光谱 LED 光照后老化实验结果如图 7。从图中可以看出：实验结束时，蓝光光照使得样品产生的色差变化最大，其余依次为 6 000 K、3 000 K、绿光，红光最小。各光源光照之后，植物染料的色差变化均明显高于国画颜料。黄色系植物染料黄檗(经 6 000 K 白光、3 000 K 白光以及红绿蓝三种单色光光照之后的色差依次为：29, 27.5, 4.9, 23.2, 34.3)和槐米(经以上光源光照之后的色差依次为：24.3, 24, 9.2, 22.7, 43.2)以及红色系的国画颜料曙红(经以上光源光照之后的色差依次为：12.9, 12, 5.9, 13.4, 16.1)和硃磬(经以上光源光照之后的色差依次为：17, 7.1, 1.4, 15.9, 15.5)受光照之后色差变化最大。其中，黄檗主要成分为小檗碱，染色时主要以单分子状态吸附在蚕丝纤维表面，在辐照过程中与光的接触面积较大，因此容易产生褪色。槐米主要成分为芸香苷，易溶于水，且在水中具有较好的移动性和扩散性，染色时，不仅可以吸附在蚕丝表面，也能进入蚕丝

纤维内部，因此光照时褪色也比较显著，但要弱于黄檗^[14]。硃磬是矿物 HgS 制备硃砂时，最细的一层粉末，由于颗粒太细与光的接触面增大，导致受光照以后吸收能量较大的蓝光更容易变质。曙红又称四溴荧光素，易溶于水，实验时可能由于与空气中的水接触，经光照时，高能量的蓝光导致曙红电离，从而产生褪色现象。

表 3 实验中受照面照度与国标照度的关系(倍)

Table 3 Relationship between illuminance of experimental irradiated surface and national standard (times)

光源	照度	50 lx	150 lx	300 lx
国画颜料				
6 000 K	95 500	1 910	637	318
3 000 K	55 800	1 116	372	186
红光	20 200	404	135	67
绿光	66 200	1 324	441	221
蓝光	2 380	48	16	8
植物染料				
6 000 K	4 400	88	29	15
3 000 K	13 600	272	91	45
红光	16 000	320	107	53
绿光	33 700	674	225	112
蓝光	1 000	20	7	3

换算为国标照度 50 lx 时，国画颜料等效的连续光照时间红、绿、蓝、3 000 K、6 000 K 依次约为 60 年、150 年、5 年、125 年、225 年；植物染料等效的连续光照时间红、绿、蓝、3 000 K、6 000 K 依次约为 52 年、110 年、3.5 年、45 年、13 年(若按照 $50\,000 \text{ lx} \cdot \text{h} \cdot \text{年}^{-1}$ 的年曝光量限制，等效的光照时间还将增加数倍)。从以上结果可看到，光源的等效光照时间中短波长蓝光与其他光源相差一个数量级以上，而蓝光造成的材料色差变化最大。因此短波长的光谱对材料的老化有着至关重要的影响。

辐照照度是从光携带能量的角度来分析辐照对材料老化的影响，可以消除在照度计算时蓝光视觉函数值较小产生的对结果分析的影响，从光谱本身来分析辐照对材料的老化作用。将实验结果中辐照照度累积为各样品的色差数据提取出来对比辐照照度对样品的影响，对比结果如图 8(辐照照度累积约为 $2.8 \text{ W} \cdot \text{h} \cdot \text{cm}^{-2}$)。五种光源光照之后国画颜料的色差总体均小于植物染料，光源的影响对国画颜料较小。复合光中相同辐照照度 ($1.5 \text{ W} \cdot \text{h} \cdot \text{cm}^{-2}$) 时，黄檗、槐米、紫草经 6 000 K 辐照的色差分别为 28.5, 23.1 和 8.5 要大于 3 000 K 辐照之后的色差 25.9, 19 和 6.7。单色光中蓝光辐照后黄檗、槐米、苏木、紫草的色差分别为 29.6, 30.1, 10.2 和 11.3 明显高于绿光光照之后的色差 19.4, 14.8, 9.7 和 5.7 和红光光照之后的色差 2, 6.1, 2.1 和 3.9。因此从辐照照度来看，短波长蓝光由于光谱自身能量较大对材料的老化起着主要的作用。在实际应用中，普遍按照光照度来评价光照环境。前文已分析：在相同光照度时，单色光中蓝光辐照照度最大，这势必会增长蓝光的辐照老化作用，对文物材料产生更大的影响。

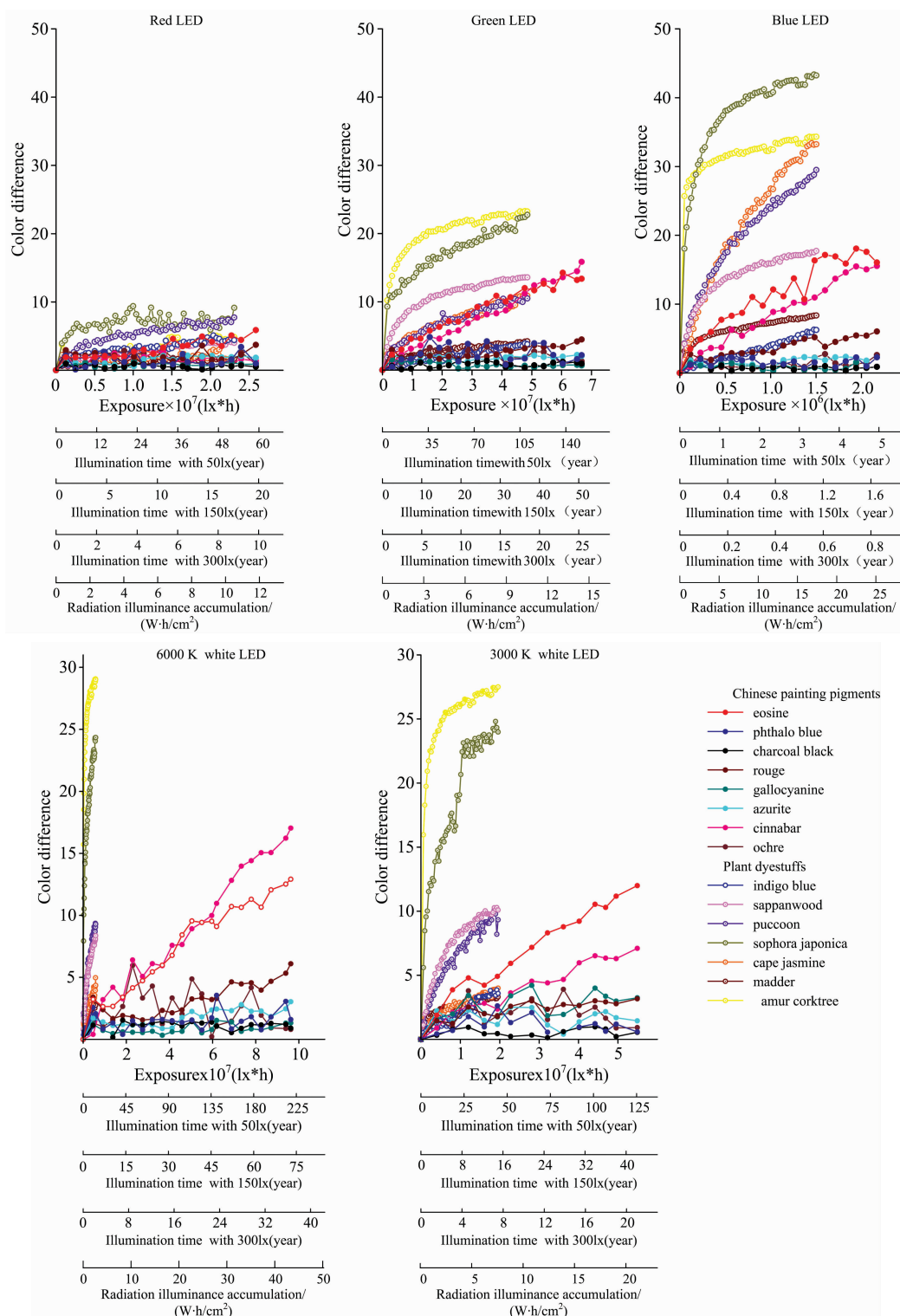


图 7 不同光谱 LED 光照样品老化实验结果

Fig. 7 Experimental results of samples aging with different spectra LED

从光照度角度分析相同曝光量时不同光谱对样品老化的影响，是从视觉的角度对实验结果进一步剖析，结果将更加与实际应用相符。将实验结果中相同曝光量时样品的色差数据取出，绘制出此时的样品色差柱状图，如图 9 所示。其中

红光、绿光、3 000 K 和 6 000 K 曝光量为 $4.5 \times 10^6 \text{ lx} \cdot \text{h}$ ，蓝光曝光量为 $1.5 \times 10^6 \text{ lx} \cdot \text{h}$ ，蓝光曝光量偏小是由于蓝光转换为照度时视觉函数数值偏小。

相同曝光量时，植物染料黄檗、槐米、苏木、紫草经

6 000 K 白光光照后色差约为 28.5, 22.5, 7.4 和 8 明显高于 3 000 K 白光光照之后的色差 24.1, 13.9, 5.5 和 4.6, 但国画颜料的色差都比较小。而单色光中, 植物染料黄檗、栀子、槐米、紫草、苏木以及国画颜料曙红和靛蓝经蓝光光照色差约为 34.3, 33.2, 43.2, 29.5, 17.7, 11 和 16.3 产生了远大于绿光光照之后的色差 15.2, 3.3, 11.3, 3.2, 6.5, 1.6, 2.6 和红光光照之后的色差 1.9, 1.3, 6.7, 3.9, 1.9, 1.5 和

1.9。可见蓝光成分比例的大小能够直接影响光源对文物材料的老化作用。蓝光 LED 的曝光量为 1.5×10^6 lx · h, 约为其他光源曝光量的 1/3, 而样品的色差高于其他光源。若照度相同, 样品色差将进一步增大。为了对文物进行更合理的保护性照明, 博物馆照明用光源的光谱成分中必须尽量减少短波长蓝光的比例。

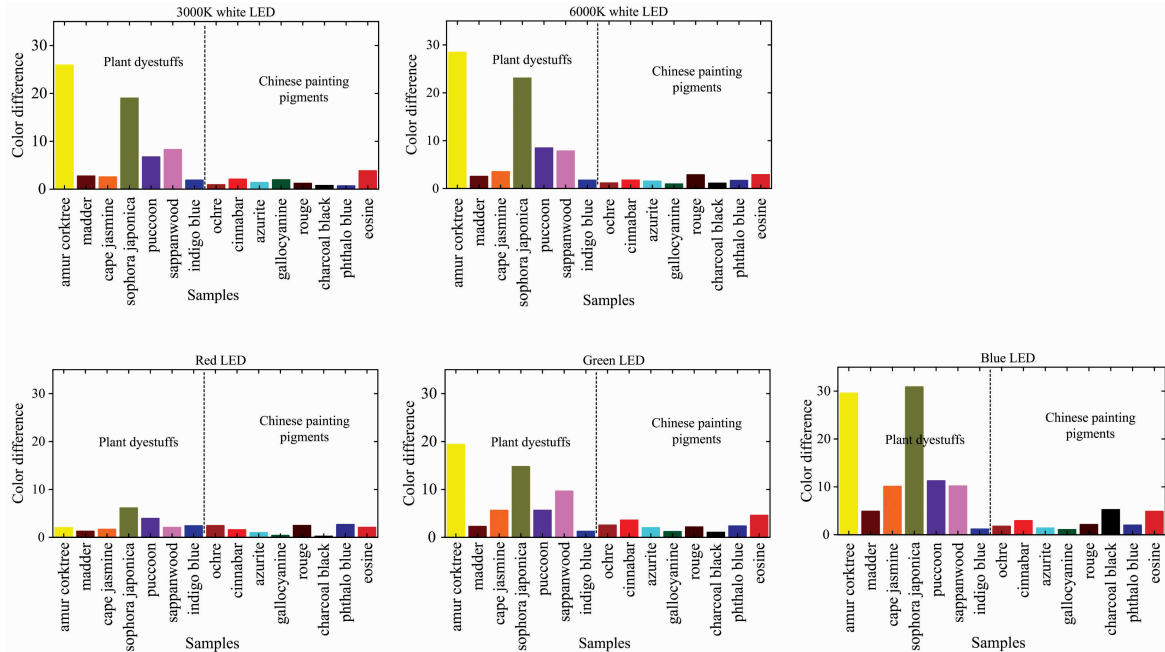


图 8 相同辐射照度时样品色差对比图

Fig. 8 Contrast diagram of samples' color difference with same irradiance

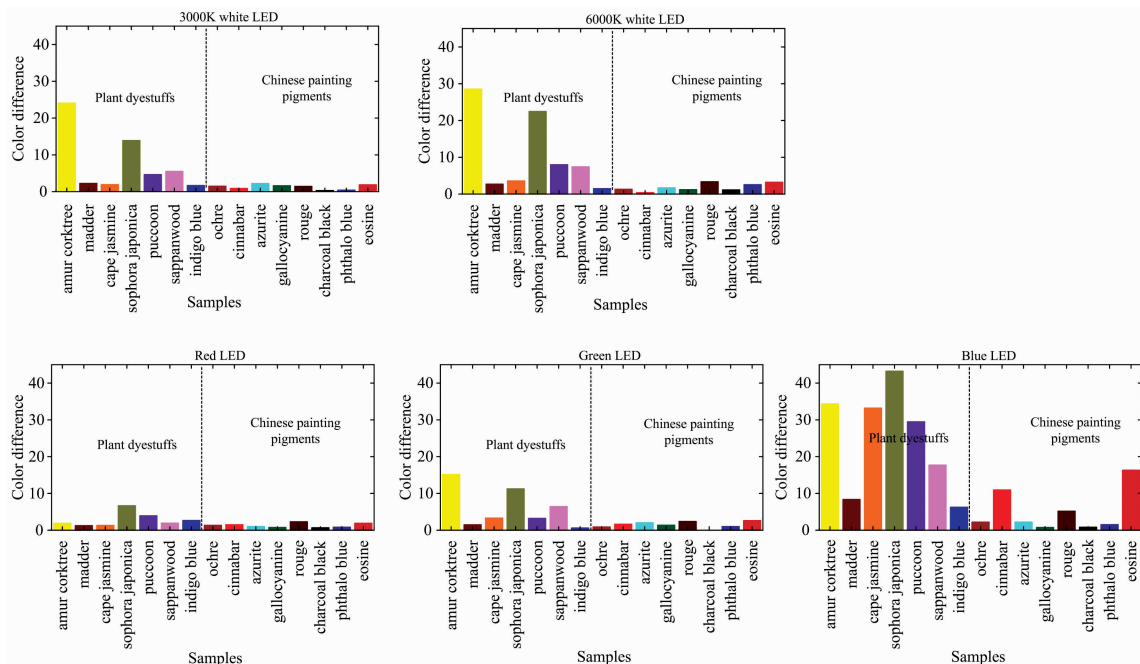


图 9 相同曝光量时样品色差对比图

Fig. 9 Contrast diagram of samples' color difference with same exposure

3 结 论

采用不同光谱的 LED 光源, 对国画颜料和植物染料进行连续高强度光辐照, 从辐射照度与光照度两个角度对样品色差结果进行分析, 探究了不同光谱的 LED 光源对国画颜料和植物染料样品的影响。结果表明:

(1) 可见光光谱中, 无论是从辐射度学还是光度学分析, 结果都表明短波长的蓝光对样品的损伤都是最大的, 绿光次之, 红光最小, 所以在博物馆照明中必须严格控制蓝光成分, 采用低色温 LED 光源, 能够有效降低光源对样品的损

伤。

(2) 由于蓝光对应的视觉函数值较低(470 nm 的蓝光视觉函数值约为 0.09, 555 nm 的绿光该值为 1), 相同照度光照时, 短波长蓝光对应辐照功率更大, 损伤将更大。而博物馆照明采用光照度的评价体系, 认为此时两者照度相同, 损伤相等, 这直接导致蓝光的辐照影响被进一步低估。因此未来博物馆照明相关标准中, 应对蓝光的含量进行限制。

(3) 可见光光照对植物染料的损伤明显强于国画颜料, 且黄色系的植物染料以及红色系的国画颜料受光照影响最大。因此, 对此类文物进行展陈照明时应采用更为严格的照明标准。

References

- [1] Sarkar R, Mazumdar S. *Light Eng.*, 2014, 24(2): 12.
- [2] DANG Rui, LIU Jie, LIU Gang, et al(党睿, 刘杰, 刘刚, 等). *Chin. J. Lumin. (发光学报)*, 2018, (5): 723.
- [3] XU Fang-yuan, WU Lai-ming, XU Xue-ping, et al(徐方圆, 吴来明, 徐雪萍, 等). *Sciences of Conservation and Archaeology(文物保护与考古科学)*, 2016, (1): 24.
- [4] HE Bing, XU Xue-ping, XU Fang-yuan, et al(贺冰, 徐雪萍, 徐方圆, 等). *Sciences of Conservation and Archaeology(文物保护与考古科学)*, 2016, (3): 30.
- [5] Farke M, Binetti M, Hahn O. *Studies in Conservation*, 2016, (Suppl): 83.
- [6] ZHANG Huan(张欢). *China Illuminating Engineering Journal(照明工程学报)*, 2012, (6): 64.
- [7] DANG Rui, ZHANG Ming-yu, LIU Gang, et al(党睿, 张明宇, 刘刚, 等). *China Illuminating Engineering Journal(照明工程学报)*, 2013, (3): 18.
- [8] Zhai Q Y, Luo M R, Liu X Y. *Lighting Res. Technol.*, 2015, 47(7): 795.
- [9] Berns R S. *Color Res. Appl.*, 2011, 36(5): 324.
- [10] Bhattacharjee A, Mazumdar S. *Light Eng.*, 2016, 24(1): 36.
- [11] Dang R, Yuan Y, Luo C, et al. *Lighting Research & Technology*, 2017, 49(7): 818.
- [12] ZHANG Dian-bo, ZHAO Feng, ZHOU Yang, et al(张殿波, 赵丰, 周畅, 等). *Science of Sericulture(蚕业科学)*, 2011, (1): 69.
- [13] DANG Rui, LIU Jie, LIU Gang, et al(党睿, 刘杰, 刘刚, 等). *Chinese Journal of Luminescence(发光学报)*, 2017, (11): 1545.
- [14] WANG Ju-sheng(王菊生). *Dyeing and Finishing Process Principles • Volume 3(染整工艺原理 • 第 3 册)*. Beijing: China Textile & Apparel Press(北京: 中国纺织出版社), 1984. 115.

Study on Irradiation Damage of Photosensitive Cultural Relics Caused by Spectra of Exhibition Illumination Source

LUO Yun¹, LIU Xian-ming¹, ZHANG Jun², LI Yi-dong², ZHOU Wei², CHEN Wei-min¹

1. College of Opto-Electronic Engineering, The Key Laboratory for Opto-Electronic Technology & System of Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400044, China

2. China Silian Instrument Group Co., Ltd., Chongqing 400700, China

Abstract Light irradiation of display lighting can cause fading, aging and other radiation damage to photosensitive cultural relics, especially to calligraphy and painting, dyed silk, painted pottery and other cultural relics that are responsive to light. In order to reduce the radiation damage to cultural relics, the level of illumination is strictly controlled by standards at home and abroad. For example, the illumination level of cultural relics responsive to light is only 50 lx. This is very detrimental for the audience to appreciate those precious works of art. With the development of semiconductor solid-state light source Light emitting diode (LED) technology, the spectrum of semiconductor solid-state light source does not contain ultraviolet and infrared bands, which are the most harmful to cultural relics. So it has a natural advantage over traditional light source to achieve less damage to cultural relics under the same illumination condition, making it possible to improve the brightness of the lighting environment and thereby improving the level of the lighting environment without increasing the damage to the cultural relics. However, even if

there is only visible light spectrum, the visible light photon energy will still cause irreversible damage to the material of culture relics. Nevertheless, the spectrum of the LED light source is diverse, leading to the fact that the damage will even be great different. When LED light source enters the field of exhibition lighting, how to scientifically guide the research, development and application of museum heritage lighting source is the key to improving the lighting environment of cultural relic exhibition. In this paper, the changes of surface color properties of common photosensitive cultural relic materials under continuous visible light irradiation were measured and studied. Through the samples preparation of traditional Chinese painting pigments and plant dyestuffs (Chinese painting pigments are mainly cinnabar, ochre, azurite, gallocyanine, rouge, charcoal black, eosine, phthalo blue; plant dyes are mainly madder, amur corktree, cape jasmine, indigo blue, Sophora japonica, sappanwood, puccoon), using monochromatic lights with different wavelengths and LED with different color temperature as light sources, a large dose continuous irradiation experiment was carried out on the samples. In the course of irradiation, the colorimetric parameters L^* , a^* , b^* of the surface color for the materials were measured periodically, and the color differences of samples were calculated with CIE 1976 L^* , a^* , b^* uniform color space chromatic difference calculation method, after irradiation by LED light sources with different spectra. The effects of long-term irradiation caused by LED light sources with different spectra for traditional Chinese painting pigments and plant dyes were analyzed respectively from radiometry and photometry. The experimental results showed that after the same irradiation or exposure, short wavelength blue light causes the largest color difference on the samples, the green light is the second, and the red light is the least, whether from the perspective of radiometry or photometry. In composite light experiments, because of the larger proportion of blue light, the effect of high color temperature LED light source for irradiation impact is obviously higher than that of low color temperature LED light source. At present, when the illumination degree is used to evaluate the illumination environment of the museum, compared with the radiation illumination evaluation, the effect of blue light irradiation on the cultural relics is further underestimated because of the low value of the human visual acuity function corresponding to the blue light. Under the same illumination condition, the aging degree of plant dyestuffs is higher than that of traditional Chinese painting pigments, and the yellow plant dyestuffs (amur corktree, sophora japonica) as well as red color traditional Chinese painting pigments (cinnabar, eosine) are more apt to aging in the process of irradiation. Therefore, the LED light source for museum display lighting should strictly control the composition of blue light, and the use of low color temperature light source is more conducive to the protection of cultural relics. In the future, when formulating the lighting standards for cultural relics exhibition and display, the proportion of blue light should be restricted. In addition, for the yellow, red and other cultural relics responsive to light, the corresponding display lighting standards should be more stringent. This study is of great significance to the development and application of LED light source in museum lighting, as well as the improvement of lighting standards and lighting conditions in the future.

Keywords Cultural relics lighting; Chinese painting pigments; Plant dyestuffs; Light emitting diode irradiation damage; Visible light irradiation

(Received Mar. 26, 2018; accepted Aug. 1, 2018)