

LED 燈應用於文物展示照明之可行性 ——兼談藍光危害

張琳¹

摘要

LED 燈的研發不僅被視為解決當今地球暖化的重點科技，對博物館或美術館而言，標榜無紫外線、不發熱的特性，正符合博物館照明的文物保存需求；另，低耗能、使用壽命長的特性，亦可解決博物館經費籌措不易的窘境。然而，在日新月異的產品中，如何選擇適當燈源應用於文物照明且兼顧文物保存，本文將以藍光危害的觀點及近年國外博物館應用評估報告探討之。

關鍵詞：文物保存、發光二極體燈、藍光危害

前言

LED 產業日新月異，標榜無紫外線、不發熱的特性，正符合博物館照明的文物保存需求；另，低耗能、使用壽命長的特性，亦可解決博物館經費籌措不易的窘境，博物館界對此趨之若鶩之際，卻存在褒貶不一的評價，筆者遂於 2010 年就當時的設計與技術，以文物保存的觀點探討 LED 燈應用於展示照明可能的應用瓶頸及對文物的影響（張琳，2010）。

目前市面上絕大多數的白光 LED 是以藍色的 LED 激發黃色螢光粉，國際電工委員會（International Electrotechnical Commission，以下簡稱 IEC）自 2006 年

開始意識到高能量的藍光可能對人類敏感脆弱的組織造成影響，因此制定了光生物安全標準 IEC62471，並陸續修正及提出技術報告，明確制定了曝照限制、參考量測技術、危害分類，以評估各種光源及照明系統（包括 LED 產品，但不包括波段距離在 200-3000nm 的激光產品）的光生物學安全性。我國也在 2012 年 11 月 25 日依據 IEC62471: 2006 國際標準公佈 CNS15592，制定相同的標準。為解決環保、經濟問題而以高科技研發的 LED 燈，是否真與文物保存共榮無虞？本文援引 IEC 提出藍光危害人體組織的評量，並整理近年博物館應用實例所做的評估結果，探討此新科技可能對脆弱材質文物造成不

¹ E-mail: linchang@npm.gov.tw

可逆的破壞之可能，期能提醒文物保存人員為各類文物慎選適當的照明。

光對文物的影響

對文物而言，只有被材料吸收的光才會造成材料的光化轉變，但被吸收的光並不見得會隨即發生化學變化。當光子具有或接近文物材料中某分子的兩個能階差距的能量時，此分子將會吸收光子，而成電子激態。在這種狀況之下分子會以螢光釋出能量，而這能量會以熱耗散；或被傳遞到另一分子，進而喪失一特定部分的能量，轉變為更低能階者。長時的激態之後，會以磷光釋放剩餘的能量，或以熱耗散過多的能量；或在被激化的分子之原子間的鍵會被打破 (Saunders, 1995)。

文物受光後，是否造成明顯的改變，須先確認兩點：一、光能量是否被吸收了？二、其後光化反應的量子產率 (quantum yield) 為何？前者可由光源的放射光譜及物體吸收光譜加以比較得知，後者則可由光化實驗定量的結果推論而得。文物在受光後產生的化學變化歸納有下列幾種可能：一、褪色；二、無色的材質因此呈色；三、色彩的基值改變，如光致變色 (photochromism) (Schaeffer, 2001)。

褪色效應的評估

造成光化學效應的光的輻射潛能與波長息息相關，又因承載各種色料的基質是吸收或反射哪些波段、對何種波段的光敏感都非一定的，所以在波長與破壞力之間並不能假定一個數值上的直接關聯性。故文物保存者也嘗試用 Blue Wool 標準片衡量顏色的耐光性及褪色動力學。Blue

Wool 標準片已被國際標準化組織 (International Organization for Standardization, 簡稱 ISO) R105 及英國標準 (British Standards) BS1006 採納為褪色效應的測試標準。Blue Wool 標準片每片有 8 條染有特定染料的羊毛，第二條的褪色時間約較第一條長兩倍，第三條又比第二條長兩倍，依此類推；最易褪色的是 Blue Wool 1 號，曝光總量約 4×10^5 luxhours，亦即在 50 lux 的照度下，40 天的展覽期間，每天 10 小時連續照射 40 天，經過 20 個展覽，就會造成褪色。4 號及 5 號的 Blue Wool 對於 400-600nm 的藍光較不敏感；3 號 Blue Wool 相對地比 1 號及 2 號對於 UV-A 還敏感 (Thomson, 1986)。

1953 年 Harrison 提出「Harrison 破壞係數」(Harrison damage factor) 用來計算濾除紫外線後的各種光源，對博物館文物的相對破壞力；將 400-650nm 每 50nm 的波段對博物館文物材質的相對破壞性，如表 1。

據此，從每個波段中心的相對能量 (E_λ) 乘以破壞係數，就可計算出光譜能量；例如陰天透過玻璃的自然光 5 倍於相同照度的鎢絲燈的破壞力。又，各種光源在相同的照度下，其相對能量 (E_λ) 與發光效率 (V_λ) 之乘積 ($\Sigma(E_\lambda V_\lambda)$)，去除紫外線的標準晝光較鎢絲燈具超過 3 倍的破壞力²

表 1. 簡化的 Harrison 破壞係數
(摘自 Thomson, 1986)

波段 (nm)	D_λ (相對破壞性)	V_λ (發光效率)
400-450	100	0.008
450-500	24	0.115
500-550	5.6	0.766
550-600	1.3	0.911
600-650	0.3	0.323

² The blue wool standards. <http://www.arkivprodukter.no/skin/userfiles/files/Datablad/The%20Blue%20Wool%20Standards.pdf> (瀏覽日期：2011/06/28)

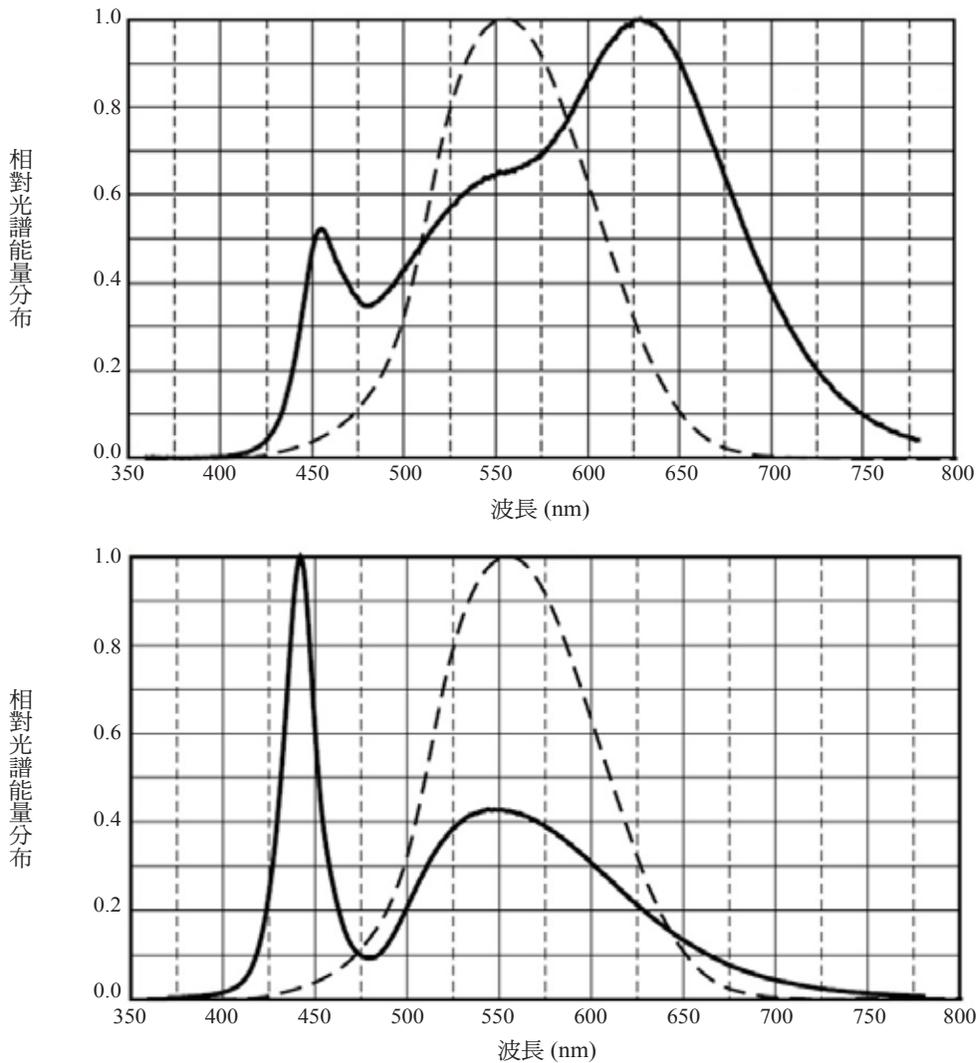


圖1. 暖白 (LCW CQAR.CC, OSRAM; 3000K, CRI: 90) (上圖) 或冷白 (LUW CQAR, OSRAM; 5700-6500K, CRI: 70) 的 LED 燈光譜圖 (實線者; 虛線為人眼之明視曲線)

(Thomson, 1986)。上述各種光源破壞性的比較，係以博物館或美術館的文物照明皆選用低紫外線或無紫外線的光源為前提；然而目前標榜環保、節能的固態照明產業正蓬勃發展，市場上發光二極體研發應用為各類光源產品日新月異，特別是近年白光 LED 應用以取代一般照明產品形形色色，均強調無紫外線，然而究其光源產生方式，無論是以藍色的 LED 激發黃色螢光粉的產品，或是以紫外光或近紫外光 LED

激發紅藍綠三色螢光粉，乃至於一組或兩組以上的紅藍綠 LED 陣列混光而成的產品，文物保存工作者亦可藉此初步研判，選擇對文物相對破壞性小的能量頻譜之光源。

文物照明的量測標準

Kronkright (2010) 便提出警訊：LED 燈的 50 lux 照度 (illuminance, 單位為勒

克斯 lux) 不等於白熾燈的 50 lux³。探究其因，照度的定義係被照物體表面每單位面積所接收的光通量 (luminous flux, 單位為流明 lumen, lm)，而所謂的光通量是每單位時間內人眼感受到由光源 (／被照物) 所發出 (／吸收) 的光能，亦即人眼實際感受光的明亮程度，由於人們往往以亮度去判斷光強度，眼睛看起來微弱的紫光，進入眼睛的輻射通量往往比我們以為的多很多；在明亮環境中，人眼對波長為 555nm 左右的黃綠色光最敏感，圖 1 中的虛線即為光譜光效曲線 (spectral luminous efficiency curve) 的明視覺敏感曲線；其發光效率 (luminous efficiency, 光通量) 最高，輻射通量 (radiant flux, 單位為瓦特 Watt, W) 為 1W 的黃綠光其光通量為 683lm (石曉蔚，2004)。

因此，無論是暖白或冷白的 LED 燈的光譜 (圖 1)，主要波峰都非落在人眼敏感的區域，相較於以石英鹵素燈、複金屬燈為光源的光纖照明或博物館專用的螢光燈 (MITSUBISHI/OSRAM FL40S · N-EDL · NU) (圖 2)⁴，實際的輻射通量勢必各異。故對於文物而言，以「輻(射)照度」(irradiance, 單位為 W/m²) 來檢測文物表面每單位面積所接收的輻射能是較合理的。

藍光為害文物的效應

所謂「藍光危害」(Blue Light Hazard, 簡稱 BLH) 依據 IEC 定義為：由波長主要介於 400-500 nm 的輻射照射後所引起的光化學作用，導致人體組織損傷的潛能，若照射時間超過 10 秒，這種損害機制所

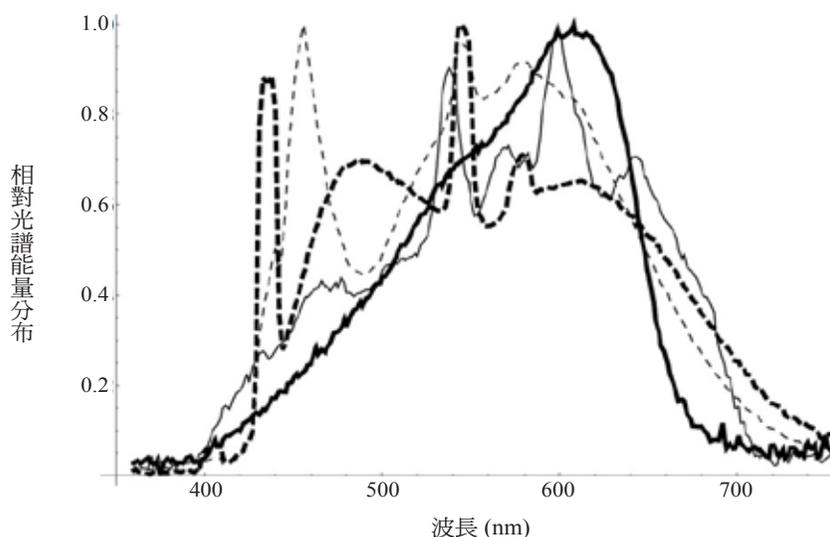


圖 2. 常用的 4 種博物館用燈之光譜圖：螢光燈 (---)、白光 LED 燈 (·····)、光纖照明系統光源為石英鹵素燈 (——) 及複金屬燈 (— · — ·)⁵。

³ Kronkright, D., 2010. Caution urged when considering LED light sources for light-sensitive materials, <http://cool.conservation-us.org/byform/mailling-lists/cdl/2010/0361.html> (瀏覽日期：2010/04/12)

⁴ 使用儀器：Portable LED spectrometer MK-350, UPRtek, Strider Instrument & Application Co., Taipei, Taiwan.

⁵ 本圖由翁誌勳博士及蕭和庭技士量測，翁博士繪圖，特此致謝。

引起主要光化學作用，是熱損害的數倍。以連續光輸出時間 >0.25 秒的連續發光燈 (continuous wave lamp) 依據使用因素、曝照時間及照明的效果，共分有 4 個危害等

級 (risk group)，又依光源波長分 7 種危害類型 (表 2) (IEC 62471: 2006)。

尤有甚者，波長 300-1400nm 的寬波域光源對視網膜的危害，有可能因為吸收

表 2. 連續光譜的光源各危害等級的發射限制值即發生危害前所需的曝照時間 (筆者彙編自 IEC 62471: 2006)

光生物危害分類	光波長範圍 Wave length	連續光譜的光源各危害等級的發射限制值 / 發生危害前所需的曝照時間 (秒)			
		無危險	低危險	中危險	單位 *
紫外光化學危害皮膚及眼睛	200-400nm	0.001 /30000	0.003 /10000	0.03 /1000	w/m ²
近紫外危害眼睛	315-400nm	10 /1000	33 /300	100 /100	w/m ²
藍光危害視網膜	300-700nm	100 /10000	10000 /100	4000000 /0.25	w/m ² sr
藍光危害視網膜 - 小光源 **	300-700nm	1.0 /10000	1.0 /100	400 /0.25	w/m ²
視網膜熱危害	380-1400nm /780-1400nm	(28000/α) /10	(28000/α) /10	(71000/α) /0.25	w/m ² sr
視網膜熱危害	780-3000nm	(6000/α) /1000	(6000/α) /100	(6000/α) /10	w/m ² sr
紅外線輻射危害	380-3000nm	100 /1000	570 /100	3200 /10	w/m ²

* 此欄係為連續光譜的光源歸類為各危害等級的發射限制值之單位。

** 小光源的定義為視見光源對應於觀察者的眼睛或測量點所形成的視角 $\alpha < 0.011 \text{ rad}$ 。

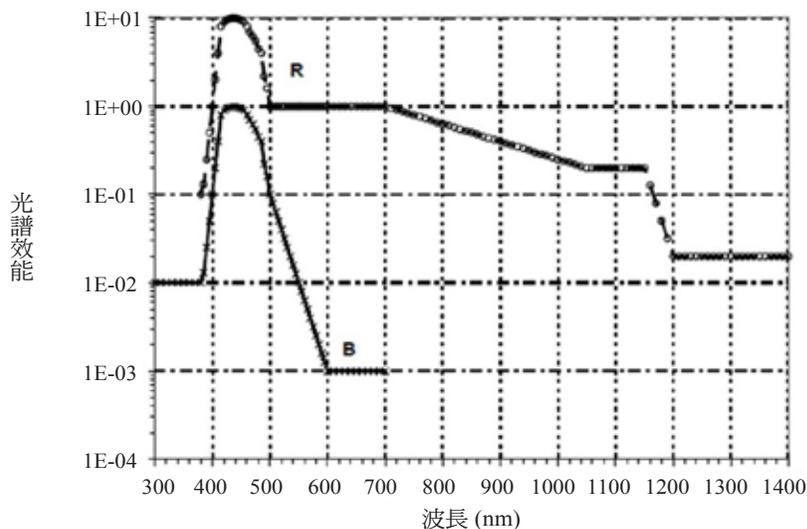


圖 3. 藍光危害 (B) 與熱危害 (R) 之光譜加權函數曲線 (IEC 62471: 2006)

這短波長高能量的藍光轉換為熱危害，且熱危害之加權函數甚至較藍光危害之加權函數大 10 倍（圖 3）(IEC 62471: 2006)。此外，2014 年 IEC 正研擬燈源及照明系統光生物安全標準測試方法 (Photobiological Safety of Lamps and Lamp Systems: Measuring Methods)，或可資為文物保存領域之借鏡。

LED 照明與文物劣化效應評估

Ishii 以一般螢光燈比較博物館專用螢光燈 (NU) 及 5 種白光 LED 對於織品染料的褪色效應（表 3），發現此 5 種白光 LED 的發光原理均屬藍光激發黃色螢光

粉，其中編號 A 的 LED 燈在 400-500nm 的波峰在全光譜中相對比例最高（圖 4），結果引起薑黃、黃蘗等天然黃色染料的褪色亦較為嚴重 (Ishii, 2008)。若再比對表 3 中某些染料在螢光燈與 LED 之間的褪色相對比值都高，可能因為這些黃色染料係吸收了能量強的藍光、反射黃光被人眼所見，是故對藍光吸收率越高的材質就越易褪色。

美國能源部太平洋西北國家實驗室 (Pacific Northwest National Laboratory，簡稱 PNNL) 針對 LED 這項綠色光源應用在各場域進行測試評估，其中在博物館方面，包括 Jordan Schnitzer Museum of Art, University of Oregon、J. Paul Getty Museum、

表 3. 一般螢光燈 (W)、博物館專用螢光燈 (NU) 與 5 種白光 LED 燈褪色相對比值 (摘自 Ishii, 2008)

燈源	燈源	螢光燈 t			白光 LED			
		W	NU	A	B	C	D	E
		4200	3000	7716	5089	4094	2869	5342
	相關色溫 (CCT) (K)	4200	3000	7716	5089	4094	2869	5342
	演色指數 (CRI)	61	95	84	78	81	75	87
日系黃色染料	Kariyasu	1	0.6	1.2	1.1	1.1	0.75	1.4
	Ukon (薑黃)	1	0.78	1.92	1.49	1.47	1.12	1.78
	Kuchinashi	1	0.44	1.31	1.38	1.13	1	1.19
	Zakuro	1	0.67	0.67	0.57	0.51	0.51	1.05
	Enjyu	1	0.73	1.27	0.96	1.3	0.73	0.89
	Kihada (黃蘗)	1	0.62	1.38	0.96	1.03	0.78	1.38
	Yamamomo	1	0.56	0.28	0.56	0.39	0.2	0.33
	Fukugi	1	1	0.86	0.37	0.67	0.81	1.15
歐系黃色染料	Weld	1	0.62	0.95	0.91	0.82	0.95	0.95
	Old fustic	1	0.72	0.89	0.7	0.66	0.49	1.08
	Persian berry	1	0.79	1.2	0.97	0.84	0.79	1.02
	Dyer's broom	1	0.53	0.88	0.59	0.65	0.41	0.88
	Marigold	1	0.95	0.97	0.78	1	0.62	1.22
	Onion skin	1	0.87	1.02	0.73	0.73	0.72	0.89
	Annatto	1	0.5	0.65	0.67	0.52	0.35	0.86
	平均值	1	0.69	1.03	0.84	0.85	0.68	1.03

Smithsonian American Art Museum 等；奧立岡大學藝術博物館在 2011 年 9 月提出的期終報告中針對 4 種不同光束角 (beam angle)、相關色溫 (correlated color temperature, 以下簡稱 CCT) 及演色指數 (CRI) 的 LED 與石英鹵素燈應用於畫作 (表 4)，館員 / 藝術家與觀眾對色彩表現準確性評比偏好、打光均勻度、認為光線有助看清畫作等之評價及喜好，館員 / 藝術家均偏好 Cree PAR38 LED 燈，但觀眾卻傾向 Philips PAR38 LED 燈；此外，由於汰換成

本高，或許在 9 年後才能達成損益平衡；因此換 LED 燈是須審慎評估的⁶。

Miller and Druzik (2012) 試驗色溫 3000K 的 MR16 LED 燈與 MR16 鹵素燈兩種光源，以 11,000 lux 的照度直接曝照 Blue Wool Standards 及 16 種天然染料 88 萬小時後之褪色效應，結果顯示 LED 燈曝照下的 Blue Wool Standards 褪色較慢，另對薑黃及 4 種紅色染料褪色也較鹵素燈稍微輕緩，其餘均無顯著差異。評估結果建議在選用之前，除了確認其不含或燈具

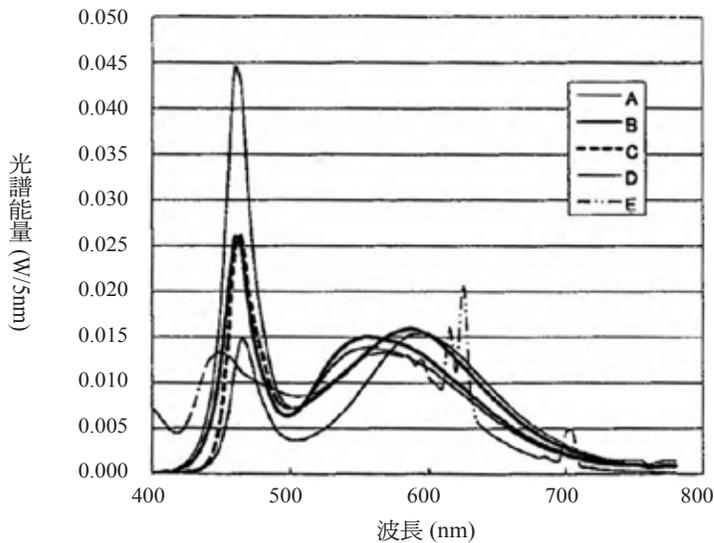


圖 4.5 種白光 LED 燈之光譜圖 (摘自 Ishii, 2008)

表 4. J. Paul Getty Museum 實地測試照明畫作用的 4 種燈之特性 (摘自註腳 7)

燈源	Sylvania PAR38 LED 燈	Philips PAR38 LED 燈	Cree PAR38 LED 燈	Sylvania PAR38 石英鹵素燈
中央光束發光強度 (Cd)	3680	3900	4648	4379
光束角 (beam angle)	25°	22°	18°	23.2°
光通量 (lm)	860	880	601	1037
發光效率 (lm/W)	45.1	51.7	58.9	13.1
相關色溫 (CCT)	2700K	2700K	2638K	2821K
演色指數 (CRI)	84	85	93	99

⁶ Miller, N., 2011. Demonstration of LED retrofit lamps at the Jordan Schnitzer Museum of Art. http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/2011_gateway_schnitzer.pdf (瀏覽日期：2012/05/22)

可濾除紫外線（波長 <400nm）及紅外線（波長 >700nm），也必須審慎評估光源光譜（包括人工光源及自然光），注意是否含有短波長（400-500nm）的能量高峰，其比例應儘量小，以小於最高峰之 1/2 為原則；一般而言，光敏感材質的文物儘量避免選用相關色溫較高的 LED 燈，因為這些 LED 的光譜較可能在藍光區段含有高波峰，故建議選用 CCT<3200K 的暖白 LED 燈，以減少短波長較中、長波長更具破壞力的輻射能，但考量燈泡生命週期的操作成本，如：人工及所節省電費等估算之，或許不到 4 年就可達到損益成本⁷。

Druzik and Michalski (2012) 比較傳統光源與 LED 燈的壽命、價格、色溫、紫外線含量及應用於博物館的優缺點，並概述 LED 燈的選擇：一、就藝術、民族學或自然史的文物，建議選擇 CRI>90 的 LED 燈，但因 CRI 並非完美的衡量指標，可依文物的特性酌予參考，並非嚴格的標準；二、倘若真要以 LED 取代任何一種傳統燈具，若希望照明文物屬較暖色者，可選擇色溫 2,700-2,800K，冷色者則可選擇 3,000K，原則上以避免高色溫的 LED 燈用於對光敏感的材質，因其含有不可被接受的高波峰的藍色波域⁸。

在 Smithsonian American Art Museum 的期終報告中，指出有關文物保存 LED 的選擇原則：一、避免選用釋放紫外線的晶片以激發螢光粉的 LED 燈；二、須注意規格不符的驅動器 (drivers)、變壓器

(transformers) 及調光器 (dimmers) 可能導致閃爍，且在安裝時也需注意 LED 晶片的散熱及熱敏電阻 (Thermistors) 之設計⁹。

常用的文物照明燈源相對破壞力初探

IEC 提出各種連續光譜的光源中 400-500nm 的波段，對於人的視網膜或皮膚等脆弱組織具藍光危害與熱危害性等生物安全性之警告；同理以推，400-500nm 波段對於同為有機質組成的光敏感文物或亦具有潛在危機。

筆者演算如圖 2 所示之常用的 4 種博物館用燈之光譜 360-500nm 的相對強度 (RI) 與 IEC62471: 2006 藍光危害與熱危害之加權函數的乘積和比值 $\Sigma RI(B(\lambda) + R(\lambda))$ ，比較此 4 種燈源的破壞力由小至大為：光纖照明系統石英鹵素燈 > 光纖照明系統複金屬燈 > 螢光燈 > LED 燈（表 5），此結果或可呼應前述 Harrison 所提出 400-500nm 之於文物的相對破壞力。

綜合討論

在上述 Ishii (2008) 以螢光燈與白光 LED 燈對織品 15 種黃色的天然染料進行的褪色實驗，由於人眼所見的黃色本身就是吸收藍光、反射黃光，因此就黃色染料而言對藍光佔全光譜比值大的光源，褪色效應更為顯著。而 Miller and Druzik (2012)

⁷ Miller, N. J. and Druzik, J. R., 2012. Demonstration of LED retrofit lamps at an exhibit of 19th century photography at the Getty Museum. <http://www.connectingtocollections.org/wp-content/uploads/2011/08/Getty-Gateway-Demo-Assessment-of-LED-Retrofit-Lamps.pdf> (瀏覽日期：2012/05/22)

⁸ Druzik, J. R. and Michalski, S. W., 2012. Guidelines for selecting solid-state lighting for museums. <http://www.connectingtocollections.org/wp-content/uploads/2011/08/SSL-Guidelines-Ver.-10.0.pdf> (瀏覽日期：2012/05/22)

⁹ Miller, N. J. and Rosenfeld, S. M., 2012. Demonstration of LED retrofit lamps at the Smithsonian American Art Museum, Washington, DC. http://www.pnnl.gov/main/publications/external/technical_reports/PNNL-21476.pdf (瀏覽日期：2013/02/21)

表 5. 常用的 4 種文物照明燈源相對破壞比值、相關色溫及演色指數比較

波長 (nm)	加權函數 (weighting function)		相對強度 (relative intensity)			
	藍光危害 B(λ)	熱危害 R(λ)	光纖 - 石英鹵素燈	光纖 - 複金屬燈	螢光燈	白光 LED 燈
	相關色溫 (CCT)		3332K	3821K	5119K	4612K
	演色指數 (CRI)		83	88	94	82
360	0.01		0.027473	0.033065	0.012209	0.01404
365	0.01		0.029869	0.016591	0.006015	0.011606
370	0.01		0.028078	0.044267	0.005132	0.012966
375	0.01		0.003382	0.028575	0.004131	0.009878
380	0.01	0.1	0.034559	0.016141	0.006092	0.012239
385	0.013	0.13	0.028523	0.022726	0.009352	0.010233
390	0.025	0.25	0.040011	0.027586	0.005847	0.013301
395	0.05	0.5	0.030907	0.035095	0.010408	0.011912
400	0.01	0.1	0.040113	0.056529	0.053703	0.029991
405	0.2	2	0.071704	0.103244	0.072469	0.039299
410	0.4	4	0.078618	0.149862	0.043315	0.02592
415	0.8	8	0.0917	0.158213	0.03258	0.028773
420	0.9	9	0.098343	0.188615	0.050517	0.041952
425	0.95	9.5	0.12351	0.207109	0.076509	0.078733
430	0.98	9.8	0.138398	0.262469	0.514725	0.236468
435	1	10	0.150433	0.265369	0.874644	0.406442
440	1	10	0.172284	0.277805	0.809495	0.503079
445	0.97	9.7	0.185711	0.299255	0.286568	0.554004
450	0.94	9.4	0.215039	0.331326	0.36208	0.84479
455	0.9	9	0.227178	0.378027	0.436827	0.982402
460	0.8	8	0.247765	0.405372	0.509249	0.883185
465	0.7	7	0.274561	0.42424	0.575445	0.7436
470	0.62	6.2	0.289594	0.41509	0.620352	0.615551
475	0.55	5.5	0.319182	0.416999	0.660802	0.545233
480	0.45	4.5	0.330352	0.406161	0.685696	0.478979
485	0.4	4	0.368946	0.400915	0.694827	0.45535
490	0.22	2.2	0.385217	0.410108	0.694637	0.446101
495	0.16	1.6	0.412589	0.422834	0.690291	0.460339
	Σ RI(B(λ)+R(λ))		28.26563	43.26522	63.68899	65.92029

以 MR16 LED 燈與 MR16 鹵素燈對 Blue Wool Standards 及 16 種天然染料之褪色試驗中，或因 Blue Wool Standards 的藍色試片本身就吸收黃光、反射藍光，因此對 3,000K 偏黃的色光，特別是全光譜比值較高的鹵素燈，吸收量相對高，故產生較快的褪色效應；同理，亦不難理解實驗中 MR16 鹵素燈對 4 種紅色染料的褪色效應較 MR16LED 燈快。因此泛黃、黯然的古書畫等脆弱文物幾乎吸收了全光譜的光，反射出可供人眼觀賞者極微，故此類文物保存標準限制照度低於 50 lux，是避免這些脆弱文物遭受光破壞的權宜之計。

而博物館常用的光纖照明系統無論是以複金屬燈或石英鹵素燈為光源，因為有濾鏡濾除對文物較具傷害性的光波，且光源產生的熱也被隔離，相較於博物館專用的螢光燈或 LED 燈，在波長 400-500nm 的區間有一高波峰，為全光譜的數個主要高峰之一，全光譜中 500nm 以下的相對比值，螢光燈及 LED 燈相對地高，以 Harrison 相對破壞力或藍光危害及熱危害加權函數的角度，評估其對文物的破壞性，其優劣自不言而喻。

如 Miller and Druzik (2012) 及 Druzik and Michalski (2012) 建議採用相關色溫值越低的 LED 燈可避免高能量的藍光傷害文物；然而，各博物館或美術館展示文物的性質各異，參觀者與博物館專家對美學呈現上的主觀喜好也不盡一致，因此若以專家提出相關色溫 3000K 為準則，恐很難彰顯所有類別的文物展示效果，或是為普

羅大眾所接受，此遂回歸到文物保存與展示美學的權衡問題。

以往的文照標準包括光源不含紫外線 (UV-Free) 或低紫外線 ($<75\mu\text{W}/\text{lm}$)，依各種文物材質而制定不同的容許照度。縱使 LED 燈鮮少有紫外線釋出之虞，且人眼感覺相近的亮度下，照度也因度量原理而相對的低；然而，因其封裝端與燈具端的熱管理不良，可能 LED 所產生的熱的問題，可能間接影響櫃內相對溼度，造成文物物理性的傷害；白光 LED 的光譜中在 400-500nm 波段具有高波峰者，以藍光危害及某些敏感材質吸收高能量的短波長之光能後轉換為熱危害的角度，更是造成文物劣化或變色的直接因素，尤其需要審慎評估。面對日新月異照明產品，文物保存者除了嚴守以往的文照標準，若能進一步審慎評估各種光源波長 400-500nm 的藍光占全光譜比例儘可能低，以進一步降低輻照度為原則，或可避免高能量及熱對文物造成物性與化性的改變，將照明對文物不可逆的傷害減至最低。

誌謝

感謝工業技術研究院量測技術發展中心能源與環境計量技術組半導體照明計量實驗室提供相關參考資料，及臺灣歐司朗公司光電半導體部提供相關產品光譜圖。感謝兩位論文審查者提供的寶貴建議，及編輯群的細心修正，讓本文更臻完善。

參考文獻

- 石曉蔚，2004。光與視覺，室內照明設計原理，初版四刷，頁：3-29。臺北：淑馨出版社。
- 張琳，2010。發光二極體燈做為文物展示照明之可行性探討，文化資產保存學刊，13: 73-76。
- International Standard, IEC 62471, 2006. Photobiological Safety of Lamps and Lamp Systems. Reference number IEC 62471: 2006. Switzerland: International Electrotechnical Commission.

- Ishii, M., Moriyama, T., Toda, M., Kohmoto, K. and Saito, M., 2008. Color degradation of textiles with natural dyes and of blue scale standards exposed to white LED lamps: Evaluation of white LED lamps for effectiveness as museum lighting. *J. light & Vis. Env.*, 32(4): 30-38.
- Saunders, D., 1995. Photographic flash: Threat or nuisance? *National Gallery Technical Bulletin* Vol. 16. Davies, D. and Green J. (Ed.). National Gallery Publications Ltd. 1995. ISBN 1 85709 071 3.
- Schaeffer, T. T., 2001. Background information. Ch.1 in *Effects of Light on Materials in Collections*, pp. 6-12. Los Angeles: The Getty Conservation Institute Publications.
- Thomson, G., 1986. Light part II. In *the Museum Environment*, 2nd ed., pp. 182-186. Butterworths.

作者簡介

張琳現任國立故宮博物院登錄保存處副研究員兼科長。

The Feasibility of Light Emitting Diode Use in Museums and the Blue Light Hazard

Lin Chang*

Abstract

Light Emitting Diodes (LEDs) are widely used to reduce energy consumption and ease global warming. In addition, the UV-free and non-heat producing characteristics of LEDs are compatible with the conservation concepts of museums. Moreover, low power consumption and long life of LEDs can reduce lighting-related expenditures. The aims of this article are to discuss and evaluate proper light source use in museum displays to avoid damage to cultural properties from blue light hazard of LEDs and to review some recent cases of LED applications in museums around the world.

Keywords: conservation of cultural property, light emitting diodes, blue light hazard

* Associate Researcher and Section Chief, Department of Registration and Conservation, National Palace Museum; E-mail: linchang@npm.gov.tw