

光源設計對ABS塑膠霧面噴漆產品色偏之影響研究

吳志富* 竇瀟** 林楷潔* 廖志傑***

* 大同大學工業設計系

wcf@gm.ttu.edu.tw

** 大同大學設計科學研究所

douxiao0808@outlook.com

*** 佛光大學產品與媒體設計學系、研究所

jjliou@mail.fgu.edu.tw

摘要

零售業為了吸引客人，通常會對產品的展示光源進行設計以營造氛圍，現今因 LED 照明易調整且能源消耗低等特點，成為目前商場最常用的照明系統。本研究針對產品設計中最常使用於產品外形材料之 ABS 塑膠霧面噴漆產品做實驗對象，使用不同的 LED 照明，探討在不同色溫、照度下，消費者所看到產品會產生何種色偏。本研究選擇了兩種常用的 LED 照度（500lux，1500lux）、兩種色溫（2700K，4000K）和四種 ABS 塑膠霧面噴漆產品色彩（紅、綠、藍、黃），測量觀察者在不同光源組合下之色偏。結果顯示，LED 所營造的四種光源情境中，以色溫因素所產生色偏具顯著性；而綠色和黃色的 ABS 塑膠霧面噴漆產品產生的色偏較為明顯，其中，綠色產品在 2700K 色溫下黑度提高，色相向黃色偏轉，在 4000K 色溫下，黑度和色相兩部分影響程度低而彩度提高；黃色產品在 2700K 在 4000K 色溫下黑度降低，彩度提高。本結果可建立應用於 ABS 塑膠霧面噴漆產品色偏預測，提供設計師預知色偏的趨勢，可為零售照明場域的光源應用提供參考。

關鍵詞：LED、色偏、ABS 塑膠，光源設計

論文引用：吳志富、竇瀟、林楷潔、廖志傑（2020）。光源設計對 ABS 塑膠霧面噴漆產品色偏之影響研究。《設計學報》，25（2），59-70。

一、前言

1-1 研究背景

產品設計要素包含造形、色彩、材質等眾多設計元素（Mougenot, Bouchard, Aoussat, & Westerman, 2008），其中，色彩為關鍵性要素之一，以色彩為主的設計策略往往能以最低廉的成本，營造不同的風

格與形象，也是最經濟的銷售策略（Gorn, Chattopadhyay, Yi, & Dahl, 1997）。零售業為了吸引客人，通常會對店內光源進行設計，以營造店內氛圍（Rea & Freyssinier, 2010），凸顯店內產品之色彩。但是產品之色彩可能因光源設計不佳而產生偏差，在視覺上影響消費者對店內產品顏色的判斷。因此時常在商家選購到喜歡的產品後，隔天使用產品時卻發現顏色跟在店家裡面看到的不一樣。其原因是商家的展示光源與日光有差異所導致。在眾多的光源中，light emitting diode (LED) 具有體積小、壽命長、操作反應快、易調節色溫照度、不易破損，高發光效率的優點（Kim & Schubert, 2008），成為目前商場主要的展示照明光源之一。然而以 LED 燈使用於商店的光源，使用上卻造成產品色彩爭議現象更大（Narukawa, 2004）。

在產品展示部分，LED 的光源調控主要有三個因素，演色性、色溫、照度；其中演色性在光源設備出廠前已設定好，且指數越高展示效果越好，故演色性很少在實驗中被調控（Sun, Lee, Ma, Lee, & Huang, 2006），故本研究主要以調控色溫、照度為主，且發現 LED 光源之色溫、照度皆對視覺感受有影響（Jia, Misawa, Takamatsu, & Hirobayashi, 2019; Şener Yılmaz, 2018）。其中光源照度對眼睛辨別空間事物影響較大，因光源亮度具有提示使用者在空間中的行為與活動狀態之功能（Soranzo, Galmonte, & Agostini, 2009）。光源色溫方面，Pardo、Cordero、Suero和Pérez（2012）研究表明不同的光源色溫能顯著影響人的辨色能力。Hawes、Brunyé、Mahoney、Sullivan和Aall（2012）研究顯示色溫提高時會提升正面情緒與清醒度，進而增加視知覺認知任務速度。實務上而言，當 LED 光源運用於展示照明時，光源呈現對空間、物品色彩以及心理感受有極大的影響，因此要如何設計合適的展示光源，且能將產品色彩的偏差的程度縮小是十分重要（Sun et al., 2012）。LED 燈光相較其他照明設備更易調節，因此，如果能夠預測不同 LED 燈光下的各種顏色產品的色偏狀況，就有機會減少這種燈光引起的色偏，如此一來既可以兼顧光源節能又可以減少購物者因色偏引起的不悅體驗。

ABS 塑膠材料則是常用於產品的外觀材質，具耐高衝擊性、化學性質穩定且柔韌性良好等優點（Harris, Nilsson, & Poole, 2015; Ozcelik & Sonat, 2009）。而色彩則是產品外觀設計中的關鍵角色（Mougenot et al., 2008）。當產品設計完成後，精確的複製出此一色彩是非常重要的工作，而色彩系統因為精確複製的功能而被廣泛使用。考慮到人類色彩感受和數量化的分析（Hård, Sivik, & Tonnquist, 1996; Pardo et al., 2012），本研究採用了 NCS 色票系統作為研究工具。NCS 定義了 1950 種標準色，每種顏色編號由三種屬性，色相（hue）、黑度（blackness）及彩度（chromaticness）構成，可以從視覺上去描述一種顏色（Hård et al., 1996）。比如，色票 S2060-G10Y，其數值則表示的是一種色相位於綠色（G）區和黃色區之間的顏色，黑度與彩度則分別是 20% 和 60%。Ji、Pointer、Luo 和 Dakin（2006）等定義光澤度是一個物體表面的屬性，描述的是物體表面的光澤程度。對噴漆來說，光澤度是一個很重要的屬性，因為施加在物體表面的光澤度可能會影響對物體本身顏色的感知（Baar, Ortiz Segovia, & Brettel, 2014; Ji et al., 2006）。光澤度是與物體表面的光譜反射率相關聯（Ji et al., 2006）。光澤度大者，其表面對光的反射大，稱之為亮面，反之稱為霧面。霧面，就是表面是光澤度較低的，容易產生漫反射的。噴漆中光澤度低於 20 屬於霧面噴漆（Ji et al., 2006）。在先前研究中，施恆慧（2012）探討了光源設計對水果色彩意象的影響。Huang 等人（2018a）等人研究了消費者對牛仔褲的光源設計偏好。Huang 等人（2018b）等人討論了 LED 燈光色溫對受測者的顏色偏好的影響。Wu、Wu、Hung、Huang 與 Cheng（2016）研究了不同 LED 光源設置下，人對銅版紙和聚酯纖維上的色彩的辨色狀況。Amano、Linhares 與 Nascimento（2018）探討了光源對於彩色繪畫藝術品在複製過程中的影響。然而，這些研究沒有考慮到產品在光源因素影響下，人眼產生的色偏問題。施恆慧（2012）研究表明，不同光源設計會使展示物品產生不同的意象氛圍，但是在這種意象氛圍下很可能產生色偏。

因此本研究擬針對 LED 光源因素與產品色彩對人視覺感知色偏之影響，亦即消費者在不同色溫、照度下肉眼所看到的 ABS 塑膠產品所產生的色偏狀況，並建立色偏趨勢預測，藉以探討各種色彩在色溫及照度之最適化組合，使產品展示符合其目標意象的同時盡可能減少色偏。研究結果將為實際場域的照明設計提供調整參考，在保證展示效果的同時減少因光源設計不佳產生的色偏。

二、研究方法與步驟

本研究選擇了塑膠產品中常見的 ABS 霧面噴漆塑膠作為研究對象，探討其在 LED 照明下的色偏狀況，研究方法與步驟說明如下。

2-1 實驗規劃

2-1.1 實驗光源組合設定

本實驗之研究目的在於討論不同色彩 ABS 霧面產品在不同光源組合下所產生的色偏。所選定光源之因素與其水準之選擇說明如下。

(1) LED 光源色溫：Sayigh (2013) 研究中指出，一般實體店家展示光源多選擇 2700K-4000K 之色溫。故實驗選定 LED 中暖色系 2700K，中性色系 4000K，共兩種色系之色溫。

(2) LED 光源照度：根據 CNS 國家標準及 JIS 照度標準表，大型店（百貨公司等）一般店內整體照度最低值為 500lux，主要大型店之設計專櫃和櫥窗 1500lux，故挑選 500lux 及 1500lux 兩種照度水準。

為配合實驗因素要求，研究定制了各二種色溫、照度，共計可顯示四種光源情境的燈箱，並使用色溫照度計（TenmarsTM202）對光源進行校正，經照度計作實際計測，其照度範圍座落於 ± 20 lux。

光源演色性會影響視覺感官對被照物表面顏色的判斷能力(李厚強,2002)。Rea 與 Freyssinier (2010) 指出 Ra 大於 80 就能使人感受到自然及鮮艷的印象。色彩視度要求較高的商家之照明之演色性指數為演色等級 1B (Zhan, 1991)，即 Ra=80-90，因此，本研究選定 Ra=85 的 LED 光源。

2-1.2 待測物設定

Hering (1964) 指出，色彩上為四原色，黃 (Y)、紅 (R)、藍 (B)、綠 (G)。NCS 色立體以黑、白為中心軸，色相環以黃 (Y)、紅 (R)、藍 (B)、綠 (G) 的次序。故本實驗挑選黃 (Y)、紅 (R)、藍 (B)、綠 (G) 四個基本色作為實驗對象。根據 NCS 色票系統獲得四種基本色的色票編號如下：黃 (Y) = S0575-G90Y、藍 (B) = S1565-B、紅 (R) = S1080-Y90R、綠 (G) = S2060-G10Y。針對此四個標準色票，以目標色票為中心，在黑度、色相、彩度三方向分別延伸，每種顏色均選出 13 張比較色票。比較色票之挑選過程以綠色標準色票 S2060-G10Y 為例，其比較色票與標準色票之數值關係見圖 1 所示。根據此關係圖可以看出，綠色標準色票黑度值=20，彩度值=60，色相=G10Y (-10)。在 NCS 色彩空間中，保持 S1060-G10Y 之彩度、色相不變，在黑度上分別增加和降低一個單位後，即選出 S1060-G10Y, S3060-G10Y 兩張色票。其他色票挑選以此方法類推。但由於 NCS 色彩空間色票不是均勻分佈的，有的坐標點可能沒有色票，因此綠色最終選出 13 張比較色票。另外，先前研究表明綠色的彩度在本文設定的四種光源情境中呈現上升趨勢(洪啟禎, 2014)，因此本研究所選用的綠色比較色票在彩度上皆比標準色票更高。實驗待測物使用白底材質 ABS 塑膠，由廠商根據所提供之 NCS 色票進行噴漆定制，每塊待測物大小 2cm*2cm，光澤度 Gloss=13。

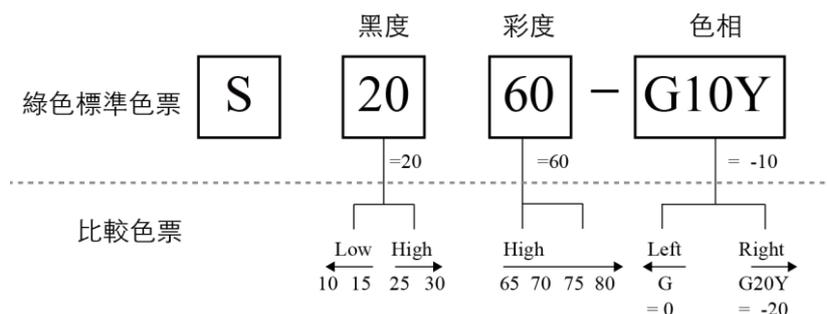


圖 1. 綠色標準色票 (S1060-G10Y) 及比較色票之黑度、彩度及色相關係

2-1.3 實驗變數

實驗採用的是 2*2*4 的全因子組內實驗，實驗變數及水準見表 1。

表 1. 實驗變數

實驗變數	變數level
光源色溫	2700K
	4000K
光源照度	500lux
	1500lux
產品色彩	Y = S0575-G90Y
	B = S1565-B
	R = S1080-Y90R
	G = S2060-G10Y

2-2 實驗設備架構

實驗設備架構如圖 2 所示，本實驗環境在實驗室內，實驗空間設計完全無光害。本實驗為了減少溫度與濕度影響受測者，將空間溫度設定為 26 度（舒適性高）而濕度維持 60%，並避免冷氣出風口吹向受測者，不會產生眼睛乾澀的情況。本實驗先行量測兩位前測受測者坐姿視距（桌面到眼睛之距離）並配合文獻閱讀（Shieh & Lin, 2000）視覺距離 42.3 公分後，設定視覺角度 30 度內，確保受測者不會受到 LED 燈直接照到眼睛，產生強烈眩光。

實驗建構了一個可控制的 LED 燈箱作為目標實驗燈箱，如圖 2 (b) 左側燈箱，以及標準燈箱（光源為 D65 國際標準人工日光，圖 2 (b) 右側燈箱）。兩個燈箱所用尺寸相同，LED 由 5 組 LED 模組架構而成，每個模組由多顆 LED 燈點組合而成（Dou, Wu, Lin, & Liou, 2019）。

2-3 受測者

為保證實驗效度，研究原選擇實驗受測者共 25 位（男性 11 人、女性 14 人），排除色盲、色弱及觀察專注力較差之受測者後，實際受測者共 20 位（男性 8 人、女性 12 人），年齡介於 20 到 30 歲之間，經矯正後兩眼視力由 Snellen's E chart 檢測達 0.8 以上。

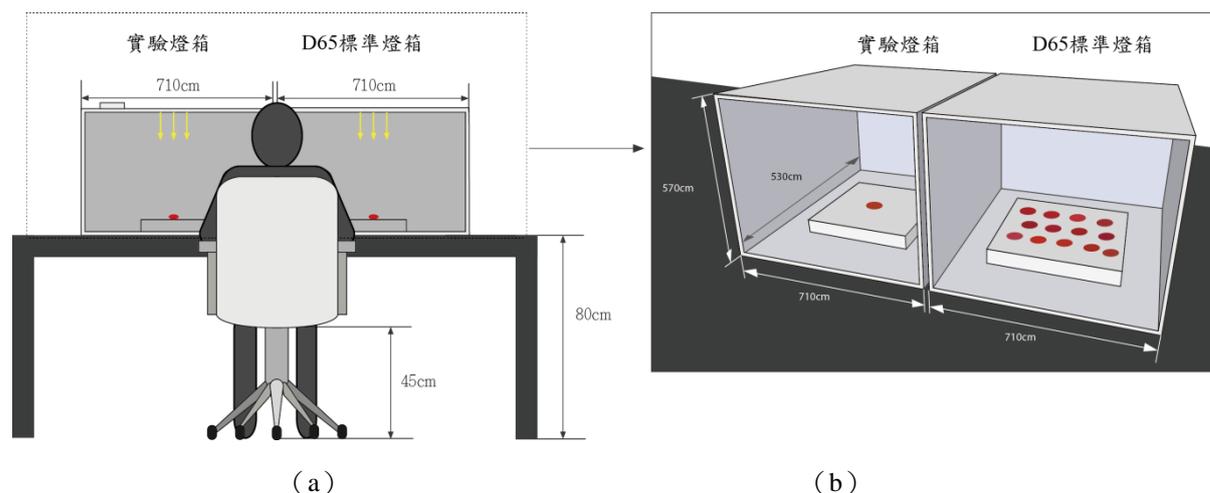


圖 2. 實驗設備架構圖 (a) 正視圖；(b) 實驗設備透視圖

2-4 實驗步驟

為排除受測者中有辨色能力問題，受測者首先要進行視力和色盲檢查，檢查通過後方進入正式實驗。

正式實驗的每次實驗進行以一人為限，首先會安排坐在定點的椅子上，見圖 2 (a)，並於實驗進行前讓受測者稍做休憩，使其眼部得以放鬆，並且根據文獻推薦將視角調整到顏色判斷視角範圍 (15 度) 內 (Pardo et al., 2012)。再請受測者填寫個人基本資料，以及閱讀問卷上說明的實驗流程與相關名詞定義，待問卷完成後，會再次解說實驗用意並確認受測者已瞭解實驗程式。

每位受測者分成四天進行，每天只做一種顏色分別為綠色、黃色、藍色和紅色，隨機順序，實驗步驟如下所示：

1. 開啟燈源，使光源趨於穩定後，使用照度計和色溫計量測確定在設定值內，開始實驗。
2. 由研究員向受測者解釋實驗流程，並針對受測者提出之問題進行補充說明，請受測者紮起頭髮，讓眼睛能夠完整呈現。
3. 研究員事先將 NCS 標號撰寫於比較色票背後，並確保受測者無法看出 NCS 標號。
4. 將標準色票和比較色票分別放置於 LED 燈箱和 D65 燈箱，且每位受測者的擺放位置皆不相同。
5. 由受測者自由挑選與標準色最接近之色票，並由研究員紀錄色票的 NCS 編號。
6. 為了避免學習效應，提醒受測者兩分鐘中內需實驗完成，其中兩分鐘是根據前測時受測者所需最長的時間。

2-5 量測指標

研究的量測指標是受測者所選比較色票的黑度、彩度、色相平均值。每張標準色票和比較色票都根據其編號在背面寫了該色票的黑度、彩度、色相數值。根據實驗過程描述，20 位受測者分別在四種光源情境下，針對每一種色彩均選出一張視覺上與標準色票最接近的比較色票，在記錄其數值後，即可量測出觀察到的該光源下的四種顏色之黑度、彩度、色相平均值、標準差，見表 2 所示。

三、結果與討論

3-1 不同光源色溫、照度下產品色彩之色偏變異數分析結果

為了更關注在光源的影響程度上，本實驗使用統計軟體 SPSS 21，進行二因子（色溫、照度）多變量變異數分析（MANOVA），比較色溫、照度對綠色、黃色、紅色、藍色 ABS 塑膠霧面噴漆產品的色相、黑度、彩度的差異。MANOVA 分析結果顯示，色溫和照度對四種色彩之色偏影響的主效果上，色溫對綠色 ABS 塑膠霧面噴漆產品之黑度 $F(1, 80) = 16.44$ 、 $p < 0.001$ 、彩度 $F(1, 80) = 6.26$ 、 $p < 0.05$ 及色相 $F(1, 80) = 6.70$ 、 $p < 0.05$ 皆有顯著影響。與 4000K 高色溫相比，2700K 低色溫下，綠色產品的黑度變黑，彩度下降，色相向黃色偏轉。照度對綠色產品的黑度、彩度、色相沒有顯著影響。色溫對黃色 ABS 塑膠霧面噴漆產品之黑度 $F(1, 80) = 5.56$ 、 $p < 0.05$ 、彩度 $F(1, 80) = 4.54$ 、 $p < 0.05$ 有顯著影響，低色溫（2700K）下，彩度提高，但是對黃色 ABS 塑膠霧面噴漆產品黑度、色相無顯著影響。照度對黃色 ABS 塑膠霧面噴漆產品無顯著影響。色溫和照度對藍色、紅色 ABS 塑膠霧面噴漆產品之黑度、彩度和色相皆無顯著影響。

色溫和照度的交互效果顯示，四種 ABS 塑膠霧面噴漆產品均無交互效果。

表 2. 四種色彩之色偏的平均值和標準差

		標準光	高色溫4000K		低色溫2700K	
			高照度1500lux	低照度500lux	高照度1500lux	低照度500lux
綠色	黑度	20.00	19.50 (4.84)	19.50 (6.67)	23.75 (5.82)	25.5 (5.10)
	彩度	60.00	65.50 (4.84)	65.75 (4.67)	64.50 (4.56)	61.75 (3.73)
	色相	-10.00	-11.00 (6.41)	-9.00 (6.05)	-13.50 (6.71)	-15.00 (8.27)
黃色	黑度	5.00	6.25 (2.22)	6.25 (2.22)	7.00 (2.51)	8.00 (2.51)
	彩度	75.00	74.75 (4.72)	73.25 (4.06)	75.00 (4.59)	77.25 (4.44)
	色相	10.00	4.50 (5.10)	4.00 (5.03)	3.00 (4.70)	1.50 (3.66)
藍色	黑度	15.00	19.25 (5.20)	20.75 (5.20)	21.75 (4.38)	22.00 (5.23)
	彩度	65.00	61.00 (3.84)	61.75 (2.94)	63.00 (2.51)	61.50 (3.28)
	色相	0.00	3.50 (7.16)	0.50 (6.05)	2.50 (6.39)	0.50 (6.05)
紅色	黑度	15.00	11.75 (4.06)	9.75 (3.80)	11.25 (3.58)	11.5 (4.32)
	彩度	80.00	80.00 (4.87)	80.75 (4.38)	82.00 (2.51)	79.25 (5.20)
	色相	10.00	11.50 (5.87)	13.00 (5.71)	14.00 (5.03)	12.00 (6.16)

3-2 色偏趨勢解讀及修正建議

本研究建立可調控 LED 光源之實際實驗場域，對產品色彩黃（Y）、紅（R）、藍（B）、綠（G）色偏狀況和趨勢加以討論。

首先，在照度方面，只要 LED 光源照度在法規設定值內（500-1500lux）時，對於四種產品色彩而言，四種色彩的黑度、彩度、色相偏移量並沒有明顯差距。此研究結果與證實 LED 光源臺灣地區現行法規的照度下，不管任何顏色的產品其差異不大。

在色溫方面，在 LED 光源法規設定值內（2700K-4000K）時，色溫對於綠色 ABS 塑膠霧面噴漆產品的黑度、彩度和色相及黃色產品的黑度、彩度有顯著的影響。推測其原因可能是人眼之視覺效應所衍生，CIE（Commission internationale de l'éclairage，國際照明委員會）就依此效應，在 1924 及 1951 分別公佈了人眼對不同波長之響應曲線，稱之為視見函數，人眼最敏感的波長則落在 507nm（黃綠色），而 400nm（藍色）和 700nm（紅色）人眼較不敏感（Ferlazzo et al., 2014）。此結果與本實驗的結果大致接近，藍色的、紅色色偏最小，可能是受測者眼睛不敏感，而不是無色偏。類似的結果在 Wu 等（2016）的研究中也有報告，不同的光源設置對黃色印刷物影響明顯，而藍綠色（cyan）不明顯。

根據表 2 四種色彩在四種光源情境下之黑度、彩度及色相的平均值，以下將詳細解讀色偏狀況，結果見圖 3。對於綠色 ABS 塑膠霧面噴漆產品，4000K 色溫下，黑度稍微降低，彩度大幅提高。4000K，1500lux 光源設置下，色相稍微向順時針，即黃綠色方向偏轉，而 4000K、500lux 光源設置下，色相稍微向逆時針方向，即藍綠色方向偏轉。在 2700K 色溫下，黑度和彩度均提高，色相向順時針方向，即黃綠色方向偏轉。綜合考慮以上情形，儘管照度影響不大，但是 4000K、1500lux 光源設置下，綠色產品色相偏移程度更低，黑度和彩度影響程度不大。因此，建議當產品為綠色的情形下，建議採用 4000K 色溫，1500lux 照度的光源設置。從黃色產品分析，四種光源情境下，黃色色相向順時針，即橙色方向偏轉。在 2700K 色溫下，黑度上升，彩度上升，而在 4000K 色溫下，黑度上升、彩度降低。但是在 4000K，1500lux 照度下，黑度上升較少，且彩度變化較少。因此，當產品為黃色的情形下，建議採用 4000K 色溫，1500lux 照度之光源設置。從紅色產品分析，四種光源情境下，紅色色相稍微向逆時針，即橙色方向偏轉。在 4000K 色溫下黑度降低，彩度小幅度上升。在 2700K 色溫下，當照度為 1500lux 時，黑度降低，彩度增加，而在 500lux 照度時，黑度降低，彩度也降低。考慮到 4000K、1500lux 光源設置下色相偏移幅度更小。因此，建議當產品具有紅色的情形下採用 4000K 色溫、1500lux 照度。從藍色產品分析，四種光源情境下，藍紫色相方面均向逆時針，即紫色方向稍微偏轉。在 2700K 色溫下和 4000K 色溫下整體黑度提高，彩度稍微皆降低，儘管照度影響不大，但是 2700K、1500lux 照度下，黑度上升幅度較小。因此，當產品為藍色的情形下，建議採用色溫 2700K，照度 1500lux 的光源設置以避免黑度的增加。

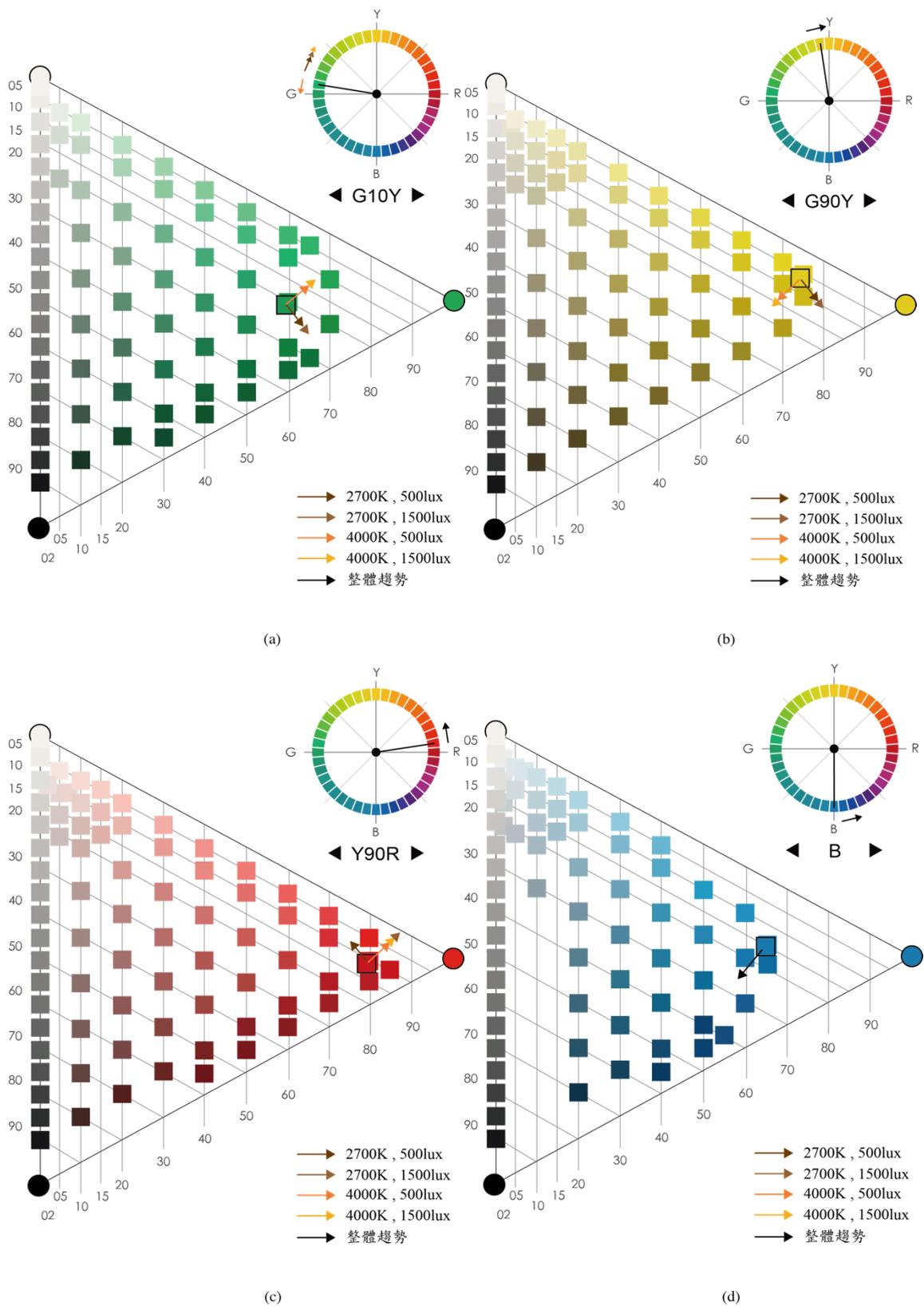


圖 3. 四種顏色 ABS 塑膠霧面噴漆產品色偏趨勢：(a) 綠色；(b) 黃色；(c) 紅色；(d) 藍色

四、結論與建議

實驗結果發現以色溫所產生視覺的影響比照度更為明顯。在不同 LED 光源設計對於綠色、黃色 ABS 塑膠霧面噴漆產品所造成的差異會比較明顯，而藍色、紅色 ABS 塑膠霧面噴漆產品無顯著差異。根據 CIE 公佈的人眼對不同波長之響應曲線推測原因可能是人眼對於綠色、黃色波段較敏感，而對紅色、藍色波段則不敏感。

研究結果可以用於改善光源下 ABS 霧面噴漆產品的色偏問題。具體來說，綠色體系的 ABS 塑膠霧面噴漆產品建議採用高色溫光源設置；黃色體系的 ABS 塑膠霧面噴漆產品則採用高色溫高照度解決黑度和彩度色偏問題。光源設置對紅色體系的 ABS 塑膠霧面噴漆產品在彩度方面影響小，推薦高色溫、高照度的燈光設置；而藍色體系的 ABS 塑膠霧面噴漆產品應使用低色溫、高照度的燈光設置。

本研究所選受測者是 20-30 歲的人，主要是因為人的視力在 30 歲之後會有不同程度的退化(Vos et al., 2016)，未來研究建議考慮更多年齡層的人。另外，本研究主要圍繞 ABS 塑膠霧面噴漆產品，儘管這類產品在產品外觀設計中應用廣泛，但 ABS 塑膠亮面噴漆產品也在產品外觀設計也十分常見，例如汽車模型，建議未來研究再增加亮面噴漆產品探討。

參考文獻

1. Amano, K., Linhares, J. M., & Nascimento, S. M. (2018). Color constancy of color reproductions in art paintings. *Journal of the Optical Society of America*, 35(4), B324-B333.
2. Baar, T., Ortiz Segovia, M. V., & Brettel, H. (2014). *Colour management of prints with variant gloss*. Paper presented at the Color and Imaging Conference. Paris: Le Centre pour la Communication Scientifique Directe.
3. Dou, X., Wu, C. F., Lin, K. C., & Liou, J. J. (2019). What color does the consumer see? Perceived color differences in plastic products in an LED-lit environment. *Sustainability*, 11(21), 5985.
4. Ferlazzo, F., Piccardi, L., Burattini, C., Barbalace, M., Giannini, A., & Bisegna, F. (2014). Effects of new light sources on task switching and mental rotation performance. *Journal of Environmental Psychology*, 39, 92-100.
5. Gorn, G. J., Chattopadhyay, A., Yi, T., & Dahl, D. W. (1997). Effects of color as an executional cue in advertising: They're in the shade. *Management Science*, 43(10), 1387-1400.
6. Hård, A., Sivik, L., & Tonnquist, G. (1996). Ncs, natural color system-from concept to research and applications. Part I. *Color Research & Application*, 21(3), 180-205.
7. Harris, B. D., Nilsson, S., & Poole, C. M. (2015). A feasibility study for using ABS plastic and a low-cost 3D printer for patient-specific brachytherapy mould design. *Australasian Physical & Engineering Sciences in Medicine*, 38(3), 399-412.
8. Hawes, B. K., Brunyé, T. T., Mahoney, C. R., Sullivan, J. M., & Aall, C. D. (2012). Effects of four workplace lighting technologies on perception, cognition and affective state. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 42(1), 122-128.
9. Hering, E. (1964). *Outlines of a theory of the light sense*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

10. Huang, Z., Liu, Q., Liu, Y., Pointer, M., Luo, M., Wang, Q., & Wu, B. (2018a). Best lighting for jeans, part 1: Optimising colour preference and colour discrimination with multiple correlated colour temperatures. *Lighting Research & Technology*, 51(8), 1208-1223.
11. Huang, Z., Liu, Q., Westland, S., Pointer, R. M., Luo, M. R., & Xiao, K. (2018b). Light dominates colour preference when correlated colour temperature differs. *Lighting Research & Technology*, 50(7), 995-1012.
12. Jia, D., Misawa, T., Takamatsu, M., & Hirobayashi, S. (2019). The optimum colour temperature for illumination of Japanese-style gardens in summer and winter. *Lighting Research & Technology*, 51(1), 82-98.
13. Ji, W., Pointer, M. R., Luo, R. M., & Dakin, J. (2006). Gloss as an aspect of the measurement of appearance. *Journal of the Optical Society of America A*, 23(1), 22-33.
14. Kim, J. K., & Schubert, E. F. (2008). Transcending the replacement paradigm of solid-state lighting. *Optics Express*, 16(26), 21835-21842.
15. Mougenot, C., Bouchard, C., Aoussat, A., & Westerman, S. (2008). Inspiration, images and design: An investigation of designers' information gathering strategies. *Journal of Design Research*, 7(4), 331-351.
16. Narukawa, Y. (2004). White-light LEDs. *Optics and Photonics News*, 15(4), 24-29.
17. Ozcelik, B., & Sonat, I. (2009). Warpage and structural analysis of thin shell plastic in the plastic injection molding. *Materials & Design*, 30(2), 367-375.
18. Pardo, P. J., Cordero, E. M., Suero, M. I., & Pérez, Á. L. (2012). Influence of the correlated color temperature of a light source on the color discrimination capacity of the observer. *Journal of the Optical Society of America*, 29(2), A209-A215.
19. Rea, M. S., & Freyssinier, J. (2010). Color rendering: Beyond pride and prejudice. *Color Research & Application*, 35(6), 401-409.
20. Sayigh, A. (2013). *Sustainability, energy and architecture: Case studies in realizing green buildings*. Waltham, MA: Academic Press.
21. Şener Yılmaz, F. (2018). Human factors in retail lighting design: An experimental subjective evaluation for sales areas. *Architectural Science Review*, 61(3), 156-170.
22. Shieh, K.-K., & Lin, C.-C. (2000). Effects of screen type, ambient illumination, and color combination on VDT visual performance and subjective preference. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 26(5), 527-536.
23. Soranzo, A., Galmonte, A., & Agostini, T. (2009). Lightness constancy: Ratio invariance and luminance profile. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 71(3), 463-470.
24. Sun, C.-C., Chen, C.-Y., Chang, J.-H., Yang, T.-H., Ji, W.-S., Jeng, Y.-S., & Wu, H.-M. (2012). Linear calculation model for prediction of color rendering index performance associated with correlated color temperature of white light-emitting diodes with two phosphors. *Optical Engineering*, 51(5), 054003.
25. Sun, C.-C., Lee, T.-X., Ma, S.-H., Lee, Y.-L., & Huang, S.-M. (2006). Precise optical modeling for LED lighting verified by cross correlation in the midfield region. *Optics Letters*, 31(14), 2193-2195.
26. Vos, T., Allen, C., Arora, M., Barber, R. M., Bhutta, Z. A., Brown, A., ... & Coggeshall, M. (2016). Global, regional, and national incidence, prevalence, and years lived with disability for 310 diseases and injuries, 1990-2015: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2015. *The Lancet*, 388(10053), 1545-1602.

27. Wu, C. C., Wu, C. F., Hung, C. C., Huang, W. S., & Cheng, P. J. (2016). Effects of color temperature and luminance of LEDs on color judgments involving various printing materials. *Journal of the Society for Information Display*, 24, 137-143. doi:10.1002/jsid.419
28. Zhan, Q. (1991). *Light in architecture*. Taipei: Shu Xin Publisher.
29. 洪啟禎 (2014)。LED光源特性對布料顏色色偏之研究 (未出版之碩士論文)。大同大學，台北市。
Hung, C. C. (2014). *A study of LED light color cast effect on fabric* (Unpublished master's thesis). Tatung University, Taipei, Taiwan. [in Chinese, semantic translation]
30. 李厚強 (2002)。人工光源之照度及色溫對視覺感知影響與照明方式調查研究-以住宅客廳為例。(未出版之碩士論文)。中原大學，桃園市。
Lee, H. C. (2002). *A study on the influence of illuminance & color temperature of artificial lighting on visual perception and survey of lighting models- Using living room as an example* (Unpublished master's thesis). Chung Yuan Christian University, Taoyuan, Taiwan. [in Chinese, semantic translation]
28. 施恆慧 (2012)。LED光源色溫、照度與演色性對消費者選用水果之影響 (未出版之碩士論文)。大同大學，台北市。
Shih, H. H. (2002). *Effects of LED light color temperature, illumination and color rendering index on consumers' choice of fruits* (Unpublished master's thesis). Tatung University, Taipei, Taiwan. [in Chinese, semantic translation]

The Color Bias Effects of LED Lighting Design on ABS Matte Spray Painted Plastic Products

Chih Fu Wu^{*} Xiao Dou^{**} Kai Chieh Lin^{*} Jieh Jang Liou^{***}

^{*} Department of Industrial Design, Tatung University
wcf@gm.ttu.edu.tw

^{**} The Graduate Institute of Design Science, Tatung University
douxiao0808@outlook.com

^{***} Department of Product and Media Design, Fo Guang University
jjliou@mail.fgu.edu.tw

Abstract

To prompt customers to purchase products, retailers tend to use lighting to create the perfect atmosphere. Light-emitting diodes (LEDs) are favorable illumination systems because of high energy efficiency, low maintenance cost, longevity, low pollution and easy to adjust. This study focused on acrylonitrile–butadiene–styrene (ABS) plastic with matte spray painted surface, a commonly used material in product design to explore the color bias of products under different LED lighting conditions. Specifically, this study focused on two commonly used illuminance levels (500lux, 1500lux), two color temperatures (2700K, 4000K) and four kinds of spray paint color (red, green, yellow and blue) on ABS plastic products to measure the color bias of observers under different lighting conditions. The results revealed that under different conditions, color temperature had more significant effects on the color bias of ABS plastic products than illumination, and the effects of the LED light sources on the green and yellow ABS products were more obvious than those on other products. The results of this study can serve as a reference for designers of ABS plastic products in predicting color bias tendencies, and such predictions can be used to optimize the practical lighting applications in retail stores.

Keywords: Light-emitting Diode (LED), Color Bias, Acrylonitrile–butadiene–styrene (ABS) Plastic, Lighting Design.