

印刷紙中添加螢光增白劑 對印刷色彩變化穩定性之影響與探討

指導教授：劉浚冶

研究學生：林宜樺、林冠汝、陳家興

關 鍵 詞：OBA、螢光增白劑、紙白、印刷色彩、ISO 12647-2

摘要

本研究旨在探討印刷紙在含有螢光增白劑 (Optical Brightening Agent 簡寫 OBA) 對於印刷色彩上的影響。目前臺灣印刷市場已經飽和，所以進軍國外市場，提升國際競爭力是未來的趨勢。與國際接軌的其中一個重要條件便是印刷品質，印刷品質會受到紙張基重、紙張塗布、紙張白度等等因素的影響，而在紙張白度的方面，近年來許多國際標準皆逐漸重視螢光增白劑在紙張印刷色彩上的影響，因此，本研究以臺灣印刷紙在含有螢光增白劑對於印刷色彩上的影響去做研究探討。本實驗選擇採用臺灣常用之六款印刷紙作為實驗對象，分別為永豐紙業、華紙紙業、日皓紙業的白道林紙；以及永豐紙業、JP紙業、金東紙業的雪銅紙。本實驗自挑選紙張開始，而後進行導表印刷，並量測視白度差 (ΔB)、螢光指數 (FI)、色差值 (ΔE)、色域容積等數值。本研究目的為尋找紙張最佳螢光增白劑含量與印刷色彩表現組合，並為臺灣印刷紙螢光增白劑含量上的差異樹立螢光增白劑增白劑分級，期許此分級能成為台灣印刷業界在含螢光增白劑紙張上的參考準則，除了能減少螢光增白劑對於最後成品的影響，提升印刷產業整體生產品質，也能減低對於環境的污染。

壹、緒論

一、研究背景與動機

印刷市場與國際接軌最重要的條件即是一印刷品質，印刷品質受到眾多生產因素影響，而如何透過標準化精準的控制每個生產變因，則是直接提升印刷品品質的直接手段，國際上已有許多印刷標準提供參考，獲得標準與認證的意義除了可用以檢查與管控印刷品質之外，也宣示該印刷廠品質與國際品質接軌。

但近年來紙張在生產時常加入螢光增白劑 OBA(Optical Brightening Agent) 來增強紙張視白度，然而螢光增白劑在不同光源下有著不同的表現，除了紙張的紙白會改變，更令人擔心的是連印刷的色彩都會受到影響，而且不同紙張在製造時加入的螢光增白劑成分、總量，紙廠幾乎都列為機密不公開，難以直接臆測色彩改變的趨勢，尤其在驗收階段，色彩與預期有差異的成品，無論是哪個客戶肯定都不能接受。

為了解螢光增白劑對於紙張的影響，ISO13655 制訂了新的色彩量測設備的量測模式 M1，透過精準的控制 UV 光的含量，測量出螢光增白劑的影響量，輔以其他標準，例如 ISO-2470，制定出新的標準來分級螢光增白劑含量，以達到標準化的目的。

而本研究欲以含螢光增白劑的臺灣印刷紙作為實驗對象，以色彩測量設備來量化螢光增白劑的影響，以減少螢光增白劑對於最後成品的影響，提升印刷產業整體生產品質。

二、研究目的

- (一) 測量含螢光增白劑之印刷紙視白度變化穩定度
- (二) 測量含螢光增白劑之印刷紙紙張色調變化穩定度
- (三) 測量含螢光增白劑之印刷紙在印刷上的色彩變化穩定度表現
- (四) 了解臺灣紙螢光增白劑含量上的差異並樹立分級
- (五) 了解螢光增白劑對於印刷色彩影響的可預測性

三、研究架構

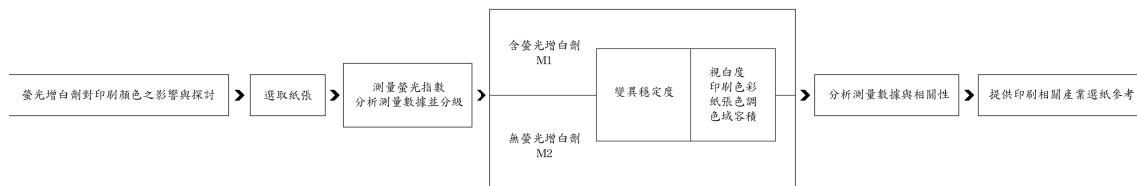


圖 1-1. 本研究架構

資料來源：本研究繪製。

四、研究假設

H1：不同標準觀測環境下，印刷紙中添加螢光增白劑的用量對紙張視白度變化穩定有顯著相關

H2：不同標準觀測環境下，印刷紙中添加螢光增白劑的用量對紙張色調變化穩定度有顯著相關

H3：不同標準觀測環境下，印刷紙中添加螢光增白劑的用量對印刷色彩變化穩定度有顯著相關

H4：不同標準觀測環境下，印刷紙中添加螢光增白劑的用量對紙張色域變化穩定度有顯著相關

五、研究前提

- (一) 假定操作員印製及測量時，過程穩定不受影響。
- (二) 假定經校準後之儀器均能穩定測量。
- (三) 假定紙材品質穩定並對本研究無顯著影響。
- (四) 假定印刷機具印刷品質穩定並對本研究無顯著影響。
- (五) 本實驗在同一溫濕度環境下進行。

六、研究範圍與限制

(一) 本研究因經費與人力限制，依實驗目的僅以台灣印刷紙為實驗範圍，其中選擇「永豐紙廠」、「中華紙漿」、「金東紙業」、「日皓造紙」以及「JP 紙業」之紙張進行實驗。本研究因經費與人力限制，僅使用數位噴墨輸出機進行導表印製。

(二) 因廠商商業資料保留立場，本研究無法取得每款紙種之螢光增白劑完整成分，僅能以測量數值的方式取得總量。

(三) 本研究僅針對添加螢光增白劑對印刷色彩表現之影響範圍作實驗與探討，其餘印刷色彩特性，例如：網點擴大、印刷對比及印刷濃度等不再此作探討。

七、名詞釋義與操作型定義

(一) 螢光增白劑：其他相似名稱為「螢光增輝劑」，英文縮寫為 OBA，紙廠添加於紙張的化學混合物，在紙張裡的螢光增白劑會吸收紫外光線，並激發出藍色波長光線。

(二) 螢光指數：螢光指數是透過光譜儀不同的兩個測量模式(有無 UV 光)得到的色彩 $L^*a^*b^*$ 的 b^* 數值，並單獨計算 b^* 的色差而得之，縮寫為 FI。

(三) 紙張視白度：紙的白度定義為散佈的光照至紙表面反射後的一個值或一個量，此標準訂定於波長 457nm。

(四) 色域：某輸出、輸入設備的色彩呈現或是再現的大小範圍。

(五) 色差：色差即為不同色彩在人眼觀察下產生之感官上的的差異，此實驗中以 CIE 之 ΔE 為度量標準。

(六) 變化量：本實驗以分光光度計測量，分別得含有紫外線模式 (M1) 下的視白度、印刷色彩、紙張色調、色域大小與過濾紫外線模式 (M2) 的數值，相減得差值，此數值在本實驗稱為「變化量」。此變化量可代表一紙張在不同標準觀測環境下的視白度變化程度，數值愈高則視白度變化愈明顯，反之則變化愈不明顯。

(七) 變化穩定度：本實驗測量某紙款多張紙張的視白度、色差、紙張色調、色域大小變化量，統計得標準差，此數值在本實驗中稱為「變化穩定度」，可代表一款紙張在不同標準觀測環境下的紙白變化程度的穩定性，數值愈高則紙白變化的穩定性愈低，反之則穩定性愈高。

貳、文獻探討

一、國際標準之紙張白度與視白度

(一) 紙張白度與視白度之定義

Brightness 與 Whiteness 是兩種不同的概念，測試數值間也無法通用。我國國家標準（以下簡稱 CNS 標準），將 Brightness 中譯稱為白度，Whiteness 則稱為視白度，而國際較普遍之說法，是將 Brightness 稱為視白度，Whiteness 稱為白度。在國際規範上，視白度 (Brightness) 意指「在特定光源下，被測體對主波長 457nm 光的反射率」；而白度 (Whiteness) 則意指被測體全波長範圍內之反射率 (吳惠敏，2013，頁 54)。

1. 白度 (Whiteness)

目前有關白度 (Whiteness) 的規範，以 CIE 白度為主，可分為 D65 及 C 光源兩種，幾何條件則可分為 45/0 與 d/0。ISO 與 TAPPI 組織都已建立白度相關規範，但我國 CNS 標準仍未建立。根據 ISO 11475 與 ISO 11476 的定義，D65 光源平均色溫為 6504K；C 光源平均色溫為 6774K。在測量紙張時，含有螢光增白劑的紙張在 D65 與 C 光源下則會有較顯著的差異。

2. 視白度 (Brightness)

我國 CNS 標準目前是分別參考 TAPPI 規範之 T 452 及 T 525 制定，為 CNS 1466 及 CNS 12885。兩者同樣以 C 光源作為照射光源，分成定向藍光反射率法 (45/0) 與積分球擴散藍光反射率法 (d/0)。在應用上，二者同樣只能進行近似白色或天然色紙張視白度之量測，對於添加色料之有色紙張，則建議以分光色度計之明度 (L^*) 值表示。另外 ISO 規範中，除了原有的 ISO 視白度外，增修了新的 D65 視白度。因 C 光源的紫外線量較 D65 光源低，因此在進行含螢光增白劑紙張量測時，C 光源較無法顯示與非螢光增白劑紙張的差異。(吳惠敏，2013，頁 54)

二、紙張白度與視白度之測量方式

CIE 於 1969 年成立了一個白度小組委員會，並建議 CIE 白度公式作為 1986 年白色材料的評估方法。該公式與許多具有類似色調或螢光的白色樣本的視覺估算有關聯性。

(一) 色彩度量

1. 色彩測量

在現代印刷中，色度的測量被廣泛的應用於製版、打樣、印刷中，並開始更多的追求色彩的準確性和可描述性。

色度，就是對色彩的度量，這種度量是對色彩的一種客觀描述，是建立在人眼的視覺生理基礎上，但它卻是大多數人對顏色的平均視覺感受。這種度量能以值的形式表示，常用具規範性的色度形式有三種：CIEXYZ、CIELAB、CIELUV，但三者之間並沒有絕對的換算關係。

2. 色彩測量之目的

建立一套色彩測量體系，讓色彩工作者做定量的描述和控制。其應用範圍不僅是在彩色印刷，還包含了彩色電視、彩色攝影、塗料和染料、紡織、造紙、照明技術等（羅梅君，2011，頁 2）

(1) 測量幾何

- A. $0^{\circ}/45^{\circ}$ or $45^{\circ}/0^{\circ}$
- B. 黑色襯背：無光澤黑色基底視覺密度 1.5 ± 0.2
- C. 白色基材：磨砂白基底 W/O 型 OBA
- D. 2017: C^* below 3 and spectral curve defines reflectance (effectively lowering high end of L^*)
- E. 提供了一個數學公式用於襯底補償
- F. 適用於印刷機特性分析，印刷機控制，校樣印刷驗證

測量照明條件 - 應用和使用 M0，M1，M2 和 M3，理論上，使用這些測量照明條件的情況是相對明確的：

- a. 測量照明條件 M0：世界絕大多數圖形藝術中使用的分光光度計和密度計都有白熾燈，其光譜接近國際照明委員會標準光源 A，色溫為 $2856K \pm 100 K$ 。
- b. 測量照明條件 M1：測量照明條件 M1 被定義為減少由於螢光引起的儀器之間的測量結果的變化，無論是透過紙張中的螢光增白劑還是成像著色劑或校樣著色劑的螢光。M1 規定用於測量樣本的光源的光譜功率分佈應與 CIE 光源 D50 匹配。
- c. 測量照明條件 M2：ISO 標準第一次定義了 UV 測量工具中的紫外線排除（各種稱為 UV 切割，無 UV 或 UV 濾波）。M2 還提供測試以確保符合標準。
- d. 測量照明條件 M3：M3 定義了極化的影響。實質上，M3 需要 M2 的 UV 限制性質，並增加了偏振的定義。在某些測量儀器中使用偏振來消除或減少反

射。

3. 色彩測量之方法

色彩測量的方法主要有兩種，分別是色度測定法及分光光度法。

第一種方法是色度測定法。色度測定法就是用色度計直接測定色彩座標。色度計有目測式和光電式。目測式儀器就是以目力觀察去評價現場兩個半圓相同與否，現今少用；光電色度計的作用原理是使用經濾色片修正的光電池的光譜敏感曲線符合合成曲線。

色度計在原理上非常類似於密度計，其外觀、操作方法甚至是購買價格都相當接近。色度計直接顯示三個刺激值 $x(-)(\lambda)$ 、 $y(-)(\lambda)$ 、 $z(-)(\lambda)$ ，大多數還把三刺激值轉換為色空間標度，例如轉換成 CIELAB 標度，但大多數只有一種或兩種照明，所以用色度計測得的色彩並不總是表現視覺色彩

第二種方法是分光光度法。分光光度法就是得到被測物體的光譜曲線，而後再計算色彩座標。為此目的，使用分光光度計先得到反射或透射曲線，可以用普通方法或自動化儀器計算。

用分光光度法比用色度測定法複雜，但較精確。也因為其複雜度，所以只有在精度要求較高的情況下才使用。

三、色彩管理

(一) 色彩管理之定義

色彩管理 (Color anagement)，運用軟體及硬體結合的方式，在生產流程系統中統一管理和調整色彩，以確保在工作流程中色彩的一致性。色彩管理系統 (CMS) 為 Color Management System 的簡寫。色彩管理系統是利用設備獨立的表現空間，如 CIELAB 或 CIEXY 表色空間，以溝通原稿色彩、螢幕色彩或印刷色彩等在表現空間中的對應關係，實現不同設備間的色彩再現。(呂雅雯，2003)

(二) 色彩管理之目的

因應現今大眾及企業等各印刷需求單位對印刷品質標準提高，使色彩管理漸趨重要，為使色彩在印刷品及其他媒體界面上呈現一致，須經由一系列管理程序達成穩定的輸入與輸出統一，實現不同輸入設備間的色彩一致性。

(三) 色彩管理之方法

CMS 即是為了在開放式系統架構處理有關色彩控制技術及影像色彩一致性的問題，並將以往色彩複製專家經驗納入易於使用的一套常駐系統軟體中，這套系統即 CMS。而色彩管理的組成核心要素的三個部分：設備校正 (Calibration)、設備色彩描述特性 (Characterization)、色彩轉換 (Conversion)

以上三個步驟為 CMS 之 3C，以下分別解釋 3C 於色彩管理系統中扮演的角色。

四、螢光增白劑對於紙張之應用

(一) 螢光增白劑之介紹

螢光增白劑首次出現於 1940 年，以二乙氨基三氟化硫為基礎原料，一直是最合乎經濟效益紙張增白方法 (Jackson, 2009)，在紙張裡的螢光增白劑會吸收波長為 350nm-360nm 的紫外光線，並在激發後，發出 400-500nm 的藍色波長光線。(Branston, 2007)

(二) 螢光增白劑之應用

在印刷紙張添加螢光增白劑的主要目的是加強紙視白強度，藉由增加紙張裡的藍色螢光，中和紙張本身的黃度，以達到人眼感知上更高的視白度。近年來此種紙張數量卻大幅長進，被印材的視白度決定了印刷上的色域以及鮮豔程度。高白度的紙張能使人在感官上有更加清淨的感覺。(Blum et al., 2004)

(三) 螢光增白劑之含量分級

判斷螢光增白劑的方法首見於圖文傳播領域的產業標準 ISO-15397，其判斷標準單位為 ΔB ，概略的計算方法為 D65 白度值 (R457, D65) 與 D65 白度 (含 UV 濾鏡) 的差值。

表 2-1 ISO 15397 螢光增白劑分級

螢光指數	ISO 15397 分級
$0 \leq \Delta B < 1$	Faint- 幾乎沒有螢光增白劑 (OBA) * 此區間 Fogra 認為螢光增白劑無影響
$1 \leq \Delta B < 4$	Faint- 幾乎沒有螢光增白劑 (OBA)
$4 \leq \Delta B < 8$	Low- 少量螢光增白劑 (OBA)
$8 \leq \Delta B < 14$	Moderate- 適中量的螢光增白劑 (OBA)
$14 \leq \Delta B < 25^*$	High- 大量螢光增白劑 (OBA)

資料來源：Method to compensate the differences between proofing and production stock, by Fogra, 2014, Germany, MUC: Author.

五、螢光增白劑的測量

(一) 螢光增白劑測量之目的

色彩管理的主要目標為「精準的複製色彩」，而含有螢光增白劑的紙張被廣泛使用，

這些印材因為螢光增白劑而明顯略白於它款紙張，然而現實中的光源千變萬化，這讓含有螢光增白劑的紙張在色彩複製上的變化難以預測 (Millward, 2014)。

(二) 螢光增白劑測量之問題

傳統的測量模式只聚焦在可見光譜對於螢光增白劑來說是一個非常重大的缺陷，測量裝置裡的光源並沒有被詳細規範，因此每一款測量裝置所量出來的數值皆有差異 (Chung & Liu, 2008, 頁 44)。2009 年 CIE 與 ISO 推出新的標準 ISO-13655，制定了測量模式 M0，且其標準光源符合 CIE 的標準光源。

然而標準光源 A (白熾燈泡) 並沒有詳細規範光譜中 UV 光的多寡。現在 M0 通常在含有多種光源的測量模式中被視為「傳統模式，通常主要是用於計算密度，是各式測量儀器中最常被使用的模式。」(Cheydeur & O' Connor, 2011)

第二種出現的測量模式是 M1，其要求測量裝置的光源必須完全符合 D50，且在測量是必須也把 UV 波長一並納入測量，第三種模式 M2 則是要求把 UV 波段的光完全從光源中移除，而第四種 M3，則是使用偏光濾鏡來消除第一表面反射來進行測量。

然而目前的難處是，雖然 ISO 13655 有明確指出螢光增白劑造成的新問題，但卻沒有提出任何的解決方案，目前 ISO13655 只推薦使用在所有的製造 M1 的模式來進行測量，且打樣、觀看環境與與測量模式使用相同的 D50 光源，理論上由於兩種光源相同且 UV 含量一樣，如此搭配是行得通的，但 ISO 13655 又寫道，檢視打樣用的燈箱、測量儀器內的光源裡的 D50 並沒有完全符合 CIE D50 的光譜規範，難以複製 ISO 規範的環境，因此目前並沒有任何有效的方法來統一測量模式或是檢視環境 (International Organization for Standardization [ISO], 2009)。

雖說目前沒有直接的解決方案，但目前廣泛接受的解法是，在一開始特性化裝置時，即把 UV 光的影響納入考量，例如 IDEAlliance，即在 IDEAlliance's Proofing Certification & Verification Programs 規定要使用含有 UV 光源的測量模式，來進行所有的打樣檢測 (International Digital Enterprise Alliance [IDEAlliance], 2008)。

(三) 螢光增白劑測量之方法

1. 測量標準：TAPPI T452 (Ref. 40)，即 ASTM D985 (Ref. 41)
2. 測量幾何結構：0/45
3. 其他要求：UV 濾鏡

螢光指數的算法是透過正常模式測量紙張視白度，再減去不含 UV 光測量出來的視白度。

$$\text{Fluorescence}(\Delta B) = \text{Brightness without a filter} - \text{Brightness w/filter}$$

而因為已知螢光增白劑的副作用為產生藍色色偏，因此計算為 $\Delta CIEb^*$ 也是可行的，且隨著螢光增白劑含量增加藍色色偏也愈趨增強，因此可透過 $\Delta CIEb^*$ 得數值來推測 ΔB

$$\text{等式一：} \Delta CIEb^* M_0, M_2 = CIEb^* M_0 - CIEb^* M_2$$

$$\text{等式二：} \Delta CIEb^* M_1, M_2 = CIEb^* M_1 - CIEb^* M_2$$

參、研究方法

一、實驗設計

本研究採用實驗研究法 (True Experimental Method)，旨在探討臺灣印刷紙中添加螢光增白劑 OBA (Optical Brightening Agent) 對印刷色彩變化穩定度之影響。首先，蒐集業界紙廠提供本研究所需紙張，測量其視白度與色差值取得數據，並利用統計軟體進行各項分析。本實驗將透過實驗設計 (Experimental Design)，以實驗驗證方式，探討各紙廠紙張的螢光增白劑含量差異，以及螢光增白劑含量多寡所造成的色彩變化。

二、實驗變項

本研究欲探討在不同測量模式下 (有 / 無 UV 光)，五家紙廠的六種被印材料其原先紙白與添加螢光增白劑後的色彩品質表現差異與比較，因此依變項及自變項內容訂定如下：

(一) 依變項 (Dependent Variable)

1. 視白變化穩定度
2. 印刷色彩變化穩定度
3. 紙張色調變化穩定度
4. 色域容積變化穩定度

(二) 自變項 (Independent Variable)

1. 螢光指數 (FI)

額外說明：由於以上測量數值皆已排除紙張自身表現，僅呈現因螢光增白劑於不同觀測環境下造成的差異，因此可無視不同款紙張之構造、紙白、紙張色彩或是塗佈方式不同所造成的色域大小差異，所有紙張都是在齊頭式平等下進行比較，紙張自身視白度、紙張色彩、色域大小等非本研究的變項內容。

三、實驗步驟

1. 選擇臺灣六款常用印刷用紙。塗佈紙與非塗佈紙各三款。
2. 挑選相同基重 120g/m² 之道林紙與雪銅紙
3. 張數：六款紙材各 100 張
4. 於溫溼度控制之環境下，以噴墨輸出機 Epson Stylus Pro 9900 在挑選的紙張印製導表 Fogra Media Wedge CMYK AED V3.0
5. 以 i1 Pro 2 搭配軟體 Babel Color CT&A 測量每張紙螢光指數 (FI)
6. 以 ISO 15397 螢光增白劑分級制度進行分級
7. 計算螢光指數 (FI) 與視白度差 (ΔB)、色差值 (ΔE)、紙張色度值、色域容積穩定度差異

四、實驗儀器

本研究採用以下儀器與軟體

1. 印刷設備：Epson Stylus Pro 9900 噴墨輸出機
2. 測量設備：X-rite i1 Pro 2 分光光度計、X-rite i1iO 分光光度計
3. 實驗軟體：Ergosoft Rip(噴墨輸出機輸出軟體)、i1 Profiler (分光光度計操作軟體)、Babel Color CT&A (視白度差、螢光指數測量軟體)、Babel Color Patch Tool (色度值統計軟體)、Colorthink Pro (色域指數測軟體)
4. 印刷導表：Fogra Media Wedge CMYK AED V3.0

肆、研究結果與分析

一、描述性統計

(一) 螢光增白劑測量與分級

本實驗以分光光度計測量六款不同紙張各 100 張，得各紙款之螢光指數 (FI)，以「A 款非塗佈紙、B 款非塗佈紙、C 款非塗佈紙、D 塗佈款紙、E 塗佈款紙、F 塗佈款紙」為紙張種類之代稱，將測得數據做描述性統計及分析。本研究將各紙款之螢光指數數據進行常態機率檢定，以圖分析，以利視覺判定數據是否趨近常態分佈，離散在主要數據外之極端值視為實驗操作失誤，除去以求數據嚴謹度。

將除去極端值之數據進行統計分析，如表 4-1 所示，得六款紙張之平均值及標準差。D 塗佈紙平均值最高，含有相對較高的螢光增白劑量，而 A 款非塗佈紙與 C 款非塗佈紙平均值較低。標準差適用於觀察數值的離散程度，標準差愈大，資料離散程度愈高，品質愈不穩定；標準差愈小，資料離散程度愈小，品質愈穩定。

本實驗以 ISO 15397 為分級依據，對六款紙張之螢光指數平均值進行以下分級。如

表 4-3 所示，其中 A 款、C 款及 E 款紙之分級為「faint」，此三款紙中幾乎不含螢光增白劑，且 A 款紙及 C 款紙在常態機率分布圖中呈異常分布，因螢光增白劑含量極低，以致於數據異常集中，在此列出數據僅供參考，無法進行此研究之假設驗證；B 款非塗佈紙、D 款及 F 款紙之分級為「low」，含少量螢光增白劑。

表 4-1 六款紙張螢光指數 (FI) 統計

紙張種類	A 非塗佈	B 非塗佈	C 非塗佈	D 塗佈	E 塗佈	F 塗佈
樣本數	100	86	96	98	92	95
平均值	0.38	5.83	0.03	6.12	3.79	4.88
標準差	0.20	0.23	0.01	0.09	0.15	0.06
分級	faint	low	faint	low	faint	low

資料來源：本研究整理

(二) 紙張視白度之描述性統計

此實驗係以 X-rite i1 Pro 2 分光光度計搭配軟體 CT&A 進行測量，分別取得紙張於標準觀測環境 1、M2 下之視白度，經計算得視白度差，如表 4-2 所示。

表 4-2 紙張視白度差之平均值、標準差與螢光指數分級之比較

紙張種類	A 非塗佈	B 非塗佈	C 非塗佈	D 塗佈	E 塗佈	F 塗佈
視白度變化量	0.48	6.51	0.04	7.11	4.54	6.15
視白度變化穩定度	0.23	0.24	0.05	0.82	0.19	0.13
螢光指數	0.38	5.77	0.03	6.12	3.77	4.84

資料來源：本研究整理

(三) 紙張色調變化之描述性統計

螢光增白劑與紙張色調變化的關係，螢光增白劑含量愈高，紙張的色調在不同環境下色差愈大，例如：「B 款非塗佈紙」、「D 款塗佈紙」，在沒有印任何顏色上去時即有遠超過 3 個單位的色差值，而紙張色調變化的穩定度，也隨著螢光增白劑增高而愈趨不穩定，尤其是「D 款塗佈紙」其色差數值高達 0.5 個單位。

(四) 紙張色彩變化之描述性統計

螢光增白劑含量較高的紙款 B、D、F 有近 2 個 ΔE ，如有更高螢光增白劑含量的紙張，

其色彩偏差影響會更加顯著。螢光增白劑含量較高的紙張，整體來說仍有較低的色彩變化穩定度；幾乎無螢光增白劑的紙張則有相較高的色彩變化穩定度。

螢光增白劑對印刷顏色的影響並不具有一致性，因此本實驗除了平均值之外，還參照 **i1 Profiler** 提供的另外兩種品質鑑驗的數值，來驗證螢光增白劑對於印刷色彩變化在不同觀測環境下的穩定性，相較於色彩表現最佳的 90% 色塊，表現最差 10% 的色塊的色差數值更受到螢光增白劑的影像。

(五) 紙張色域表現之描述性統計

本實驗以 X-rite i1 Pro 2 搭配 i1 Profiler 測量實驗紙張在不同光源下的表現，製作相對應的色彩描述檔，以軟體 Colorthink Pro 計算其色域容積，並進行相減，獲得實驗紙張在不同光源下的色域大小，進而推斷其色彩表現能力。螢光增白劑含量愈高，色域容積差亦愈大，例如「B 款非塗佈紙」、「D 款塗佈紙」、「E 款塗佈紙」、「F 款塗佈紙」，皆有非常高的色域容積差，而色域容積的穩定度，也是隨著螢光增白劑含量增高而降低。

二、假設檢定與驗證

利用 minitab 軟體進行相關性分析，其中顯著水準 (p 值) 設定為 0.05。當 p 值 < 0.05，即代表虛無假設 H_0 被推翻，研究假設 H_a 成立。

假設一：螢光指數對紙張視白度相關性假設驗證

由於紙款 D 顯著值未達顯著值，未能推翻所有虛無假設。

假設二：螢光指數對紙張色調變化穩定度與假設驗證

由於紙款 D 顯著值未達顯著值，未能推翻所有虛無假設。

假設三：螢光指數對印刷色彩變化量與假設驗證

由於紙款 D、F 顯著值未達顯著值，未能推翻所有虛無假設。

假設四：色域容積變化量與螢光指數假設驗證

由於所有相關係數未達顯著值，未能推翻所有虛無假設。

表 4-3 假設驗證與相關係數

假設驗證 / 紙款		B 紙款	D 紙款	E 紙款	F 紙款
H1：紙張視白度	相關係數	0.39	0.08	0.85	0.36
	顯著值	0.00	0.44	0.00	0.00
H2：紙張色調	相關係數	0.37	0.06	0.65	0.31
	顯著值	0.00	0.53	0.00	0.00

H3：印刷色彩	相關係數	0.40	0.05	0.89	-0.04
	顯著值	0.00	0.96	0.00	0.63
H4：色域大小	相關係數	0.01	0.11	-0.06	0.01
	顯著值	0.87	0.26	0.51	0.92

資料來源：本研究整理

伍、結論與建議

一、研究成果

螢光增白劑在不同的觀察環境下會有著不一致的表現，除了紙張的紙白、視白度會改變，更令人需要擔心的的是連印刷色彩都會受到螢光增白劑的強烈影響，而本研究欲以蒐集含有螢光增白劑的臺灣印刷紙，以色彩測量設備來量化螢光增白劑的影響，了解臺灣各式紙廠所製造的紙在含有螢光增白劑時對印刷色彩上的影響，提供產業一個挑選紙張可以參考的依據，以減少螢光增白劑對於最後成品的影響，提升印刷產業整體生產品質。

本實驗的第一到第三個研究目的：實驗數據顯示，所有變相皆無顯著相關，但大部分數據仍有一定的相關性，由此可知，螢光增白劑的使用量對於本實驗所有的變化穩定度都沒有直接的顯著正相關，且變化的數值皆不高，因此可預測性高。

二、研究效益

以往的研究結果皆顯示，螢光增白劑除了能增加紙張紙白與視白度外，並沒有任何好處，尤其是對於品質管控來說，其難以預測得特性，螢光增白劑所在不同觀測環境下造成印刷色彩變化更是惡名昭彰。

但是根據本實驗的測試結果顯示，由於螢光增白劑的變化穩定度相當高，且變化數值皆相當的低，因此對於螢光增白劑含量低的紙張，進行色彩變化的預測與分析，可行性非常高，然而本實驗並沒有收集到螢光增白劑含量分級為「Moderate」或是「High」的印刷紙張，因此無法對此兩種紙張的分級下結論，但按照實驗結果所分析的趨勢，螢光增白劑含量為「Moderate」或是「High」有可能會有更高的變化量，屆時，螢光增白劑影響的色彩變化量可能會難以預測，進而造成無法預期的結果。

因此本研究建議紙張使用者，無論是設計師或是印刷廠，對於高要求的特殊色或是品牌色印刷依舊使用無螢光增白劑或是螢光增白劑含量等級為「Faint」的紙張，而低成本但仍注重於品質管理的合版印刷業者可考慮使用螢光增白劑含量為「Low」的印刷紙，

而完全以低成本取向的業者或是使用者則可以考慮採用「Moderate」與「High」分級的印刷紙。

三、額外發現

已知螢光增白劑對於不同的色相有著不同的影響，尤其以對藍色系、青色系的影響最為明顯，但是本實驗由「表現最佳 90% 顏色色塊」與「表現最差 10% 顏色色塊」發現，相較於色相，「油墨覆蓋率」、「油墨墨膜厚度」可能為更顯著的影響因子。

四、後續研究建議

1. 螢光增白劑的作用對於特定顏色的影響與分析
2. 「高油墨覆蓋率」、「高油墨墨膜厚」的印刷方式對螢光增白劑的影響是否能夠有所減少
3. 螢光增白劑對於色彩變化影響的預測方式
4. 以「比爾·朗伯定律」(Beer's Law) 探討油墨厚度與螢光增白劑之間的關係。

參考文獻 (本文)

- 王祿旺、鄒勝峰 (2006)。臺灣印刷產業創新競爭力之研究。印刷科技，22(1)，95-124。
- 吳惠敏 (2013)。紙與紙板視白度與白度分析之比較研究。印刷科技，1 (1)，53-62。
- 黃彥儒 (2010)。不同塗佈石科紙張於平版印刷之印刷品質特性研究。國立臺灣藝術大學圖文傳播藝術學系碩士論文，新北市。取自 <https://hdl.handle.net/11296/td3s69>
- 蕭均芸、謝顯丞 (2008)。台灣地區印刷常用紙張品質規格之建構。圖文傳播藝術學報，P79 - 88。
doi : 10.29886/NTUADGCA.200805.0008
- 戴孟宗 (2013)。現代色彩學 - 色彩理論、感知與應用 (第二版)。新北市：全華圖書。
- 羅梅君 (2010)。數位色彩管理科學：色彩度量學。台北市：藍海文化。
- Adobe Inc (2000). Work with color profiles. San Jose, CA: Author.
- Blum, T., Linhart, F., Kaub, H., Champ, S., Wendker, M., Mech, D., and Geiger, S. (2004). Method for increasing the whiteness of paper by means of cationic polyelectrolytes. US patent, US2004/0182533A1.
- Branston, R. (2007). FWAs and dyes in coating applications. TAPPI Coating Short Course.
- Cheng, P. (2014). Proof-to-Print Match : Effectiveness of Substrate- Corrected Colorimetric Aims in Soft Proofing (Master's Thesis) . Retrived from <https://scholarworks.rit.edu/theses/8514/>

- Cheydleur, R., & O' Connor, K. (2011). The m factor...what does it mean?. Grand Rapids, MI: X-Rite Inc. Retrieved from http://www.xrite.com/documents/literature/en/L7-510_M_Factor_en.pdf
- International Organization for Standardization. (2013). ISO12647-2 : Graphic technology — Process control for the production of half-tone colour separations, proof and production prints — Offset lithographic processes. Switzerland, GVA : Author.
- International Digital Enterprise Alliance (2008). IDEAlliance guide to print production. Washington, D.C: Author.
- Liu et al. (2012). OBA use in high-yield furnish. *BioResources* 7(2) , 2582-2591.
- Milleward, R. S. (2014). Color Managing for Papers Containing Optical Brightening Agents (Master's Thesis) . Retrived from <https://scholarworks.rit.edu/theses/8478/>
- Pascale, D. (2018). CT&A Help Maunal. Canada, QC: CT&A.
- Rocik, T., and Hunke, B.(2003). New generation of FWAs (OBAs) for the paper industry-improved fluorescent whitening agents for size press application. *Wochenbl. Papierfabr.* 131 (10), 572-575.
- Tindal,A. (2001). New developments in optical brightening agents. *Paper2*, 49-51.
- Chung, R. & Tian, Q. (2011). Substrate correction in ISO 12647-2. Presented at the TAGA Conference, March 6-9, 2011, Pittsburgh, PA.
- Yu, C. (2015). The Effect of Optical Brightening Agent (OBA) in Paper and Illumination Intensity on Perceptibility of Printed Colors (Master's Thesis). Retrived from <https://scholarworks.rit.edu/theses/8549/>
- Fogra (2014). Method to compensate the differences between proofing and production stock. Germany, MUC: Author.