

色紙之色變現象

郭蘭生⁽¹⁾ 蕭文鎮⁽¹⁾

【摘要】本實驗之配色過程中，紅、紫、藍及黃色的紙在不同光源下常發生色變現象。暗紅色(2.5R,2/6 Munsell color)之標準紙樣與欲對色紙樣間之三刺激值雖相同，但在D65及A光源下對色時仍有明顯的色變情形。若褐色紙樣(參考未漂牛皮紙樣)之反射率曲線呈一斜直線，則不易尋獲無色變之對色色紙配方。

【關鍵詞】色變、三刺激值、特殊色變指數、反射率

Metamerism of Colored Paper

Lan-Sheng Kuo⁽¹⁾ Wen-Jenn Shiau⁽¹⁾

【Abstract】Usually red, purple, blue and yellow paper exhibit metamerism for which may result in color mismatching under different light sources in this experiment. Even there are the quite same tristimuli between match and standard, it has showed that the dark reddish paper (2.5R,2/6 Munsell color) presents a distinct metamerism while we are viewing these colored paper under D 65 and tungsten lamps. In case of the reflectance curves of brown paper (cf. the color of unbleached kraft paper) exhibit a sharp slant and metamerism, we found that the matched paper is not readily to obtain.

【Keywords】Metamerism, Color stimuli, Special metamerism index, Reflectance

一、前言

抄出符合客戶要求之色紙顏色為色紙生產者之主要工作。對特定顏色色紙配方需選適當的色料和添加濃度。在尋求正確配方之時，常受色變(Metamerism)現象所困擾，不易配出完全對色之紙色。色紙色變現象為二張色紙雖有不同的分光反射率曲線，但在某一光源及觀

(1) 國立中興大學森林研究所教授及研究生，臺灣省臺中市402。

Professor and graduate student, Research Institute of Forestry, NCHU, Taichung, 402 R.O.C.

測者之下，若其三刺激值(Color stimuli)相同($X_1=X_2$, $Y_1=Y_2$, $Z_1=Z_2$)，則此二色紙仍能對色。可是光源或觀測者被變換，其三刺激值就不相等，則此二色紙就不能對色⁽³⁾，如圖1a及1b所示。

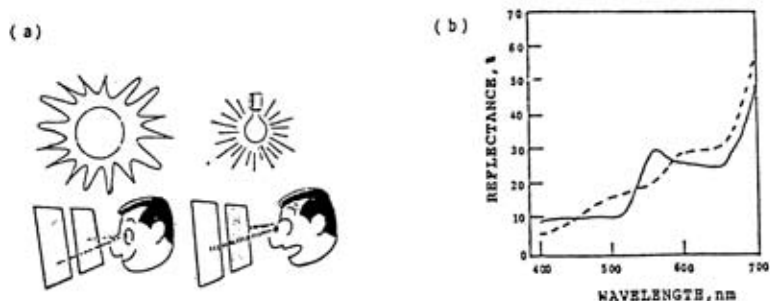


圖1 (a)色變現象
(b)色變現象，在天光下三刺激值相同，但反射率不同之二個色紙之反射率曲線
Fig 1. (a)Metamerism
(b)Reflective curves of 2 colored paper with identical tristimuli but different reflectances

圖1. (a)色變現象；(b)色變現象，在天光下三刺激值相同，但反射率不同之二個色紙之反射率曲線。

Fig 1. (a)Metamerism; (b)Reflective curves of 2 colored paper with identical tristimuli but different reflectances.

不同染料染著紙料之兩種色紙，必有不同的特定分光反射率曲線。若兩種色紙在所有光源下均能對色，則必具相近之分光反射率曲線，亦即需用相同染料配方才能獲此結果。所以吾人常藉分光反射率圖來判定色紙之色變現象。

色變程度之測定有兩種⁽⁴⁾：一種是特殊色變指數(Special Metamerism index)；國際照明學會(簡寫為CIE)曾經推薦，當兩色在某一光源下對色，但在另一光源下不對色，計算其色差，其色差稱為特殊色變指數。人眼判定之色變指數亦為特殊色變指數之一，其判定易受各觀測者主觀之判定而不一致。此種觀念可說明不對色之程度。其次為Nimeroff(1965)⁽⁵⁾氏建議從兩色樣的分光反射率曲線之差別來計算一般色變指數，即發生色變之兩色樣，其反射率曲線至少必須交叉3次，交叉次數愈多曲線彼此就愈接近，色變現象的程度就愈小。

紙廠抄造色紙為找出與標準色紙樣顏色完全一致之對色配方，所尋找出之幾種色料混合後，由於未染漿料之不同及染料未必完全相同很難期與原配方完全相同，故常有色變現象發生。

本實驗受某紙廠委託，利用試驗室具自動尋找染色配方功能之電腦配色儀進行30種外銷標準色紙配方尋求過程中，試行探討部份色紙色變發生原因，以供紙廠進行色紙配色之參考。

二、試驗材料與方法

(一)儀器

1. 分光光度計(電腦配色儀)：美製DIANO MATCH PAK I，每隔10nm測定一次，可測定色紙之反射率及CIE L*a*b*顏色值及計算色差值($\Delta E = (\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2)^{1/2}$)。
2. 標準光源對色燈(Multilight cabinet)：國產Ample house CT-100型，具D65，A，CW及UV光源可供色紙對色之用。

(二)材料

1. 紙漿：NBKP：針葉樹漂白硫酸鹽紙漿(加拿大進口紙漿)。LBKP：闊葉樹漂白硫酸鹽紙漿(中華紙漿公司)。上述紙漿置於荷蘭式打漿機中打漿至450±10mL C.S.F後脫水至約25%含漿率。以NBKP：LBKP=3:7(絕乾重量比)比例混合置於塑膠袋中備用。
2. 染料：Direct Red 3BF, Direct Red L4B, Direct Scarlet 4BS, Direct Scarlet LGG, Direct Yellow 3R, Direct Yellow RF, Direct Black VF, Direct Sky Blue 6B, Direct Sky Blue 2B, 及Direct Black H/C BF等10種粉末狀直接性染料，良朋有限公司提供。
3. 添加物：硫酸鋁 $AL_2(SO_4)_3$ 白色粉末，日本林純製藥株式會社，供染料固色用。

(三)試驗方法

將粉末狀染料充份溶解成0.5%濃度染液後按0.03, 0.05, 0.1, 0.5, 1.0 及2.0%等計量(以紙漿絕乾重為準)之染料添加量染著8克絕乾重之混合漂白硫酸鹽紙漿。充份攪拌5分鐘後添加2%硫酸鋁再攪拌5分鐘。按CNS 11375[標準染色紙樣抄造法]以手抄紙機抄造成基重100g/m²之色紙。經恆溫恆濕室調濕1天後以分光光度計測定各色紙之反射率值，作為色紙基礎資料(Data base)以供電腦配色之用。

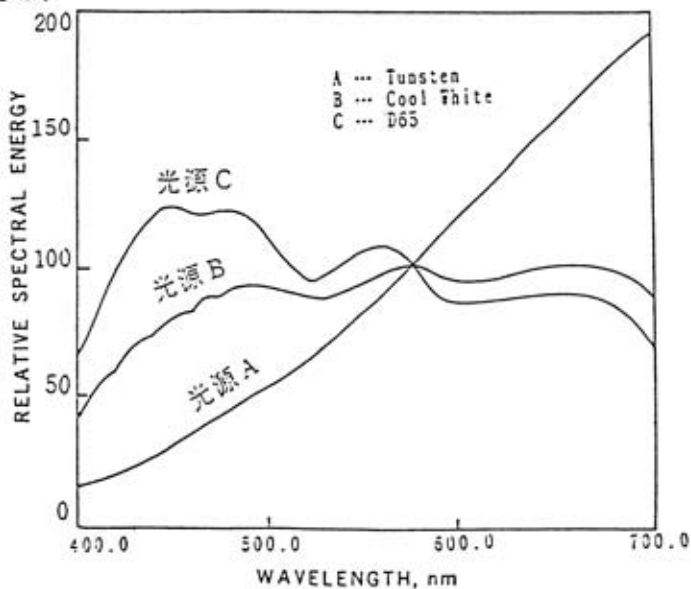


圖2 各種光源之光譜能量分佈曲線

Fig 2. Radiant power distribution curves for various light sources

圖 2. 各種光源之光譜能量分佈曲線

Fig 2. Radiant power distribution curves for various light sources.

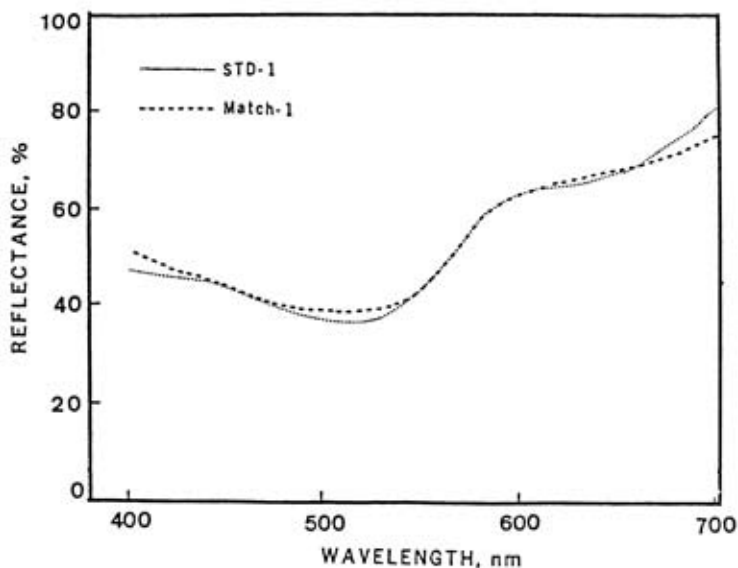


圖3 STD-1與Match-1色紙樣之分光反射率曲線

Fig 3. Reflectance curves for a pair of colored paper STD-1 and Match-1

圖 3. STD-1與Match-1色紙樣之分光反射率曲線

Fig 3. Reflectance curves for a pair of colored paper STD-1 and Match-1

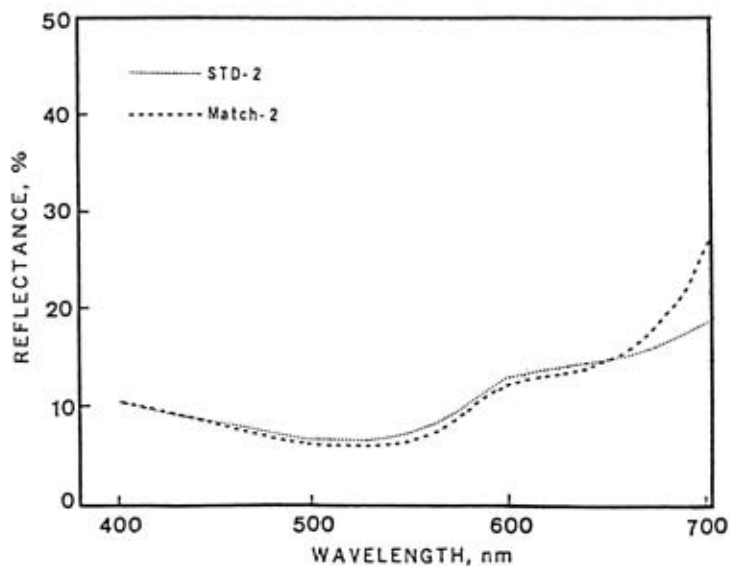


圖4 STD-2與Match-2色紙樣之分光反射率曲線
Fig 4 : Reflectance curves for a pair of colored paper STD-2 and Match-2

圖 4. STD-2與Match-2色紙樣之分光反射率曲線

Fig 4. Reflectance curves for a pair of colored paper STD-2 and Match-2

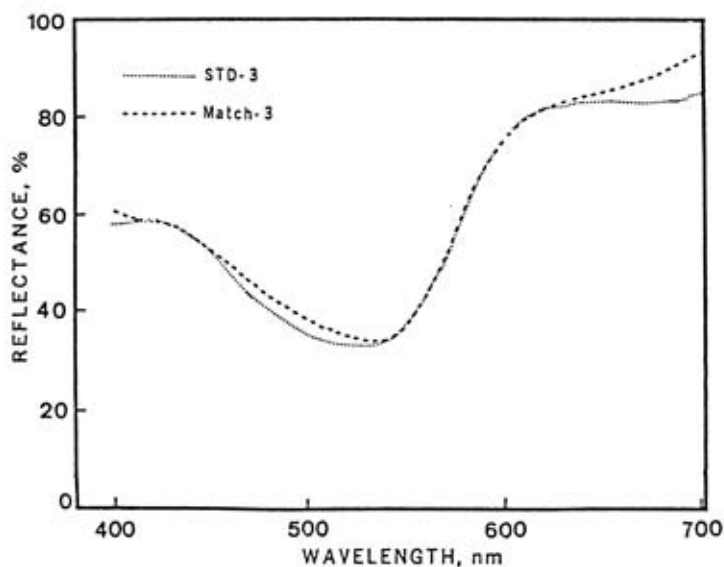


圖5 STD-3與Match-3色紙樣之分光反射率曲線
Fig 5. Reflectance curves for a pair of colored paper STD-3 and Match-3

圖 5. STD-3與Match-3色紙樣之分光反射率曲線

Fig 5. Reflectance curves for a pair of colored paper STD-3 and Match-3

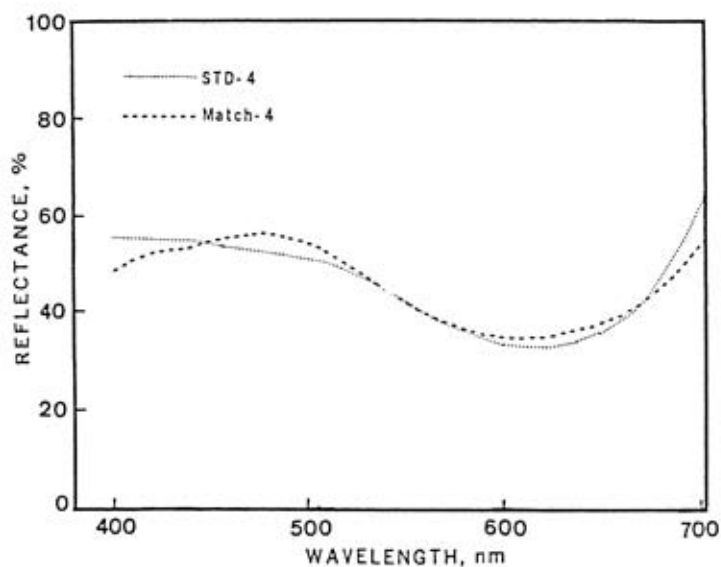


圖6 STD-4與Match-4色紙樣之分光反射率曲線
Fig 6. Reflectance curves for a pair of colored paper STD-4 and Match-4

圖 6. STD-4與Match-4色紙樣之分光反射率曲線

Fig 6. Reflectance curves for a pair of colored paper STD-4 and Match-4

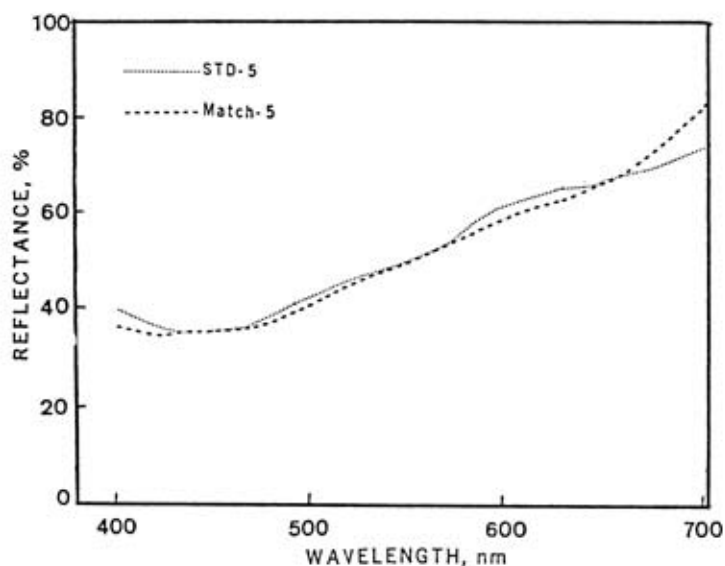


圖7 STD-5與Match-5色紙樣之分光反射率曲線
Fig 7. Reflectance curves for a pair of colored paper STD-5 and Match-5

圖 7. STD-5與Match-5色紙樣之分光反射率曲線

Fig 7. Reflectance curves for a pair of colored paper STD-5 and Match-5

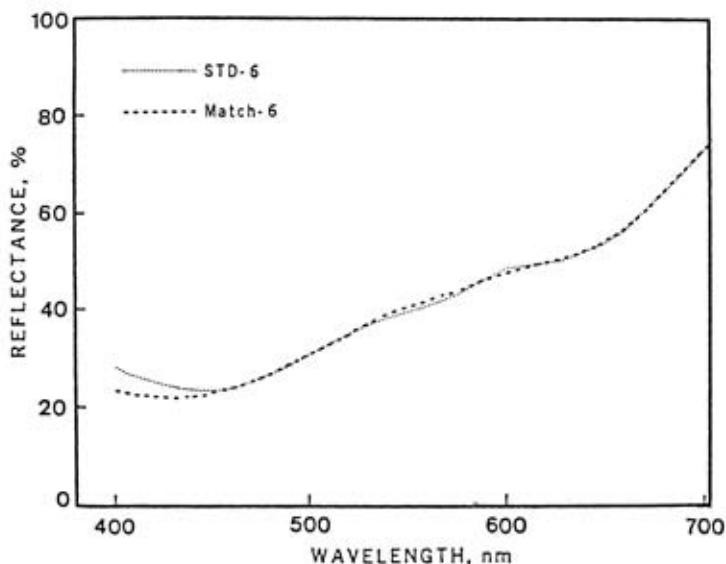


圖8 STD-6與Match-6色紙樣之分光反射率曲線
Fig 8. Reflectance curves for a pair of colored paper STD-6 and Match-6

圖 8. STD-6與Match-6色紙樣之分光反射率曲線

Fig 8. Reflectance curves for a pair of colored paper STD-6 and Match-6.

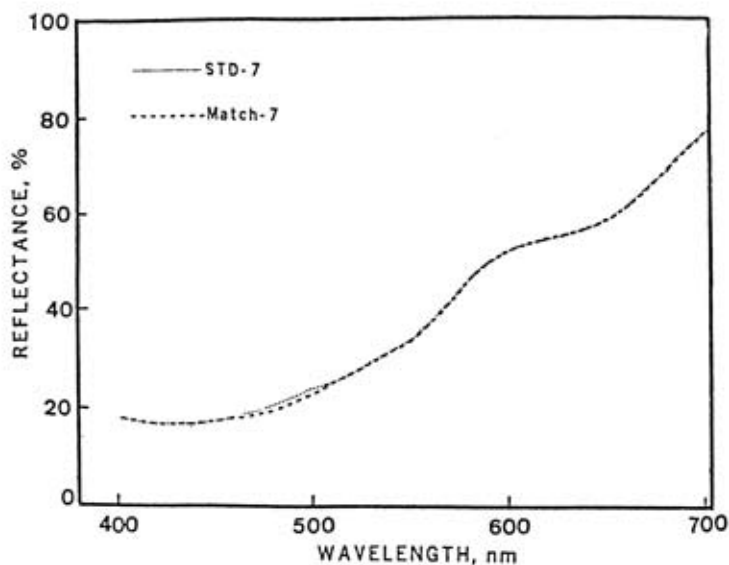


圖9 STD-7與Match-7色紙樣之分光反射率曲線
Fig 9. Reflectance curves for a pair of colored paper STD-7 and Match-7

圖 9. STD-7與Match-7色紙樣之分光反射率曲線

Fig 9. Reflectance curves for a pair of colored paper STD-7 and Match-7

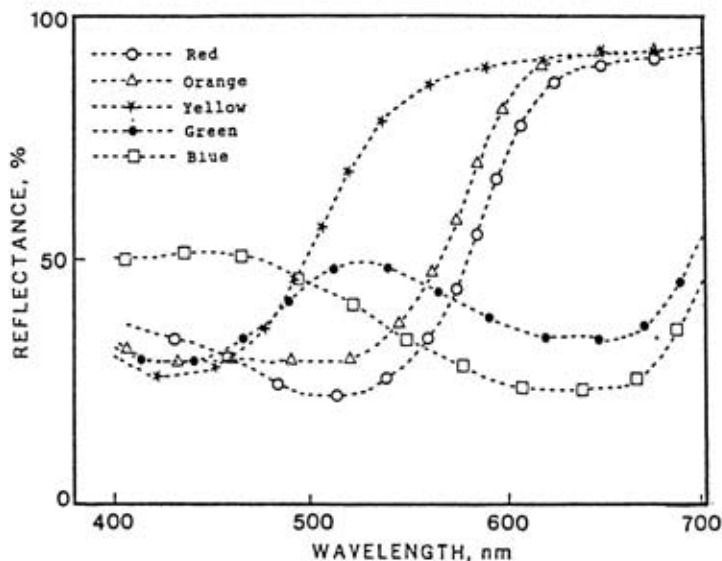


圖10 不同色調紙樣之反射率曲線
Fig 10. Reflectance curves of various colored paper

圖 10. 不同色調紙樣之反射率曲線

Fig 10. Reflectance curves of various colored paper

將客戶提供之標準色紙(STD-1至STD-7，見圖3-9)以分光光度計測定反射率，並由電腦既定程式按色樣之三刺激值及K/S值藉儲藏於電腦記憶體之配色數學程式之計算，列出接近對色之色紙染料類別及添加量之配方⁽²⁾。按此配方抄出色樣後若色差在標準對色燈下視之仍高於人眼所能辨認的色差1時，則再以電腦配色儀進行修色，直至色差小至人眼在對色燈下無法分辨為止。

為觀察標準色樣與欲對色色樣(Match)間之色變現象，吾人變化對色燈之光源(A光源、D 65光源及冷白CW光源)，特請5位視力正常的人在不同光源下將各色紙進行人眼對色並按通過(不易分辨色差，PASS)及不通過(可分辨色差，FAIL)註明人眼對色結果。

三、結果與討論

由某紙廠委託近30種色樣之配色實驗中，吾人選出其中7種色變較嚴重者，如表1所示之STD-1(標準色樣1號)及Match-1(對色樣1號)之淺紅色紙在冷白日光燈光源下進行對色時，三刺激值X、Y、Z之差距分別為0.4、0.7、0.2。經CIELAB表色系統之色差公式計算後之色差值為0.8屬人眼不易分辨之色差。但在D65天光光源下觀察此二色樣之反射率曲線(見圖

3)可發現400-430，500-570及600-700nm波長間均無法吻合，故人眼視之有色變現象。

表1. 具色變色紙之染料配方

Table 1. Dyestuff formulations of various colored paper with metamerisms

Specimens	Dyestuff formulation	
	C.I. Name	level.%
Match-1	Direct Red 3BF	0.012
	Direct Scarlet LGG	0.033
	Direct Black VF	0.022
Match-2	Direct Red 3BF	1.296
	Direct Scarlet 4BS	1.772
	Direct Black VF	2.787
Match-3	Direct Red 3BF	0.047
	Direct Red L4B	0.025
	Direct Sky Blue 6B	0.002
Match-4	Direct Black H/C BF	0.021
	Direct Sky Blue 2B	0.069
	Direct Sky Blue 6B	0.035
Match-5	Direct Yellow 3R	0.070
	Direct Black VF	0.070
	Direct Red L4B	0.020
Match-6	Direct Yellow 3R	0.149
	Direct Black H/C BF	0.025
	Direct Red L4B	0.040
Match-7	Direct Scarlet LGG	0.107
	Direct Yellow RF	0.254
	Direct Black H/C BF	0.017

All the formulations are selected by computer-controlled spectrophotometer with the appropriate color matching.

表 2. 不同光源下不同顏色色紙之色變現象

Table 2. Metamerism of colored paper while viewing under different light sources

Munsell notation	Specimens formulation	Light source	Color						Visual matching	
			X	Y	Z	L*	a*	b*	ΔE	
5R4/8	STD-1	D65	53.2	49.1	46.9	75.5	17.7	6.8	—	—
		A	65.9	52.9	15.1	77.8	17.6	11.5	—	—
		CW	55.5	51.3	29.4	76.9	13.3	8.6	—	—
淺紅	Match-1	D65	53.6	50.0	47.2	76.1	16.4	7.4	1.5	P
		A	66.3	53.6	15.2	78.2	16.8	11.8	1.0	F
		CW	55.9	52.0	29.6	77.3	12.6	8.9	0.8	P
2.5R2/6	STD-2	D65	10.0	8.4	8.7	34.9	16.7	1.7	—	—
		A	12.7	9.4	2.7	36.8	16.4	5.9	—	—
		CW	10.2	8.8	5.5	35.5	12.7	2.2	—	—
暗紅	Match-2	D65	10.0	8.7	8.6	35.4	14.7	2.8	2.4	F
		A	12.7	9.6	2.7	37.1	14.7	6.5	1.9	F
		CW	10.3	9.0	5.5	36.1	11.3	3.3	2.0	F
5RP7/10	STD-3	D65	57.9	49.6	53.8	75.9	32.6	0.2	—	—
		A	75.2	55.5	16.9	79.3	30.0	8.1	—	—
		CW	61.4	52.1	34.3	77.4	25.5	1.4	—	—
紅紫	Match-3	D65	60.3	50.3	54.9	76.3	32.1	-0.1	0.7	P
		A	76.0	56.1	17.4	79.7	30.2	7.4	0.8	P
		CW	61.8	52.4	34.7	77.6	25.4	1.1	0.4	P
10B7/4	STD-4	D65	38.8	43.7	59.2	71.4	-5.4	-12.7	—	—
		A	41.9	40.6	19.3	69.9	-7.5	-15.2	—	—
		CW	38.6	40.7	36.6	70.0	-4.2	-14.8	—	—
藍	Match-4	D65	38.1	41.8	58.5	70.8	-5.3	-13.0	0.7	F
		A	40.8	39.8	18.9	69.3	-8.3	-15.1	1.0	F
		CW	37.9	40.1	36.4	69.5	-4.4	-15.3	0.7	F
10YR8/4	STD-5	D65	50.8	51.2	39.6	76.9	5.9	17.3	—	—
		A	63.6	53.9	13.1	78.4	10.0	19.3	—	—
		CW	53.2	52.6	24.4	77.7	4.1	19.1	—	—
黃紅	Match-5	D65	51.9	52.2	40.1	77.4	6.4	17.7	0.9	P
		A	65.1	54.9	13.3	79.0	10.7	17.9	1.0	F
		CW	54.6	53.6	24.7	78.3	5.1	19.5	1.2	F

2.5Y7/4	STD-6	D65	40.4	41.4	26.6	70.3	4.2	23.8	—	—
		A	51.5	43.5	8.9	72.0	9.8	25.4	—	—
		CW	42.6	42.4	16.3	71.2	2.8	25.9	—	—
黃	Match-6	D65	40.3	40.8	27.1	70.1	4.9	22.6	1.4	F
		A	51.4	43.3	9.1	71.8	10.1	24.4	1.0	F
		CW	42.6	42.2	16.6	71.0	3.7	24.6	1.6	F
7.5YR6/8	STD-7	D65	40.6	38.1	20.2	68.1	14.2	31.3	—	—
		A	53.9	42.3	6.8	71.7	19.3	35.1	—	—
		CW	43.3	40.5	12.3	69.9	10.8	34.8	—	—
黃紅	Match-7	D65	40.3	37.8	20.3	67.9	14.1	30.5	0.8	P
		A	53.5	41.9	6.9	70.8	19.3	34.1	1.1	F
		CW	42.8	40.1	12.3	69.9	10.6	34.2	0.7	P

P....PASS. F.....FAIL. STD....Standard

就STD-2與Match-2(圖3)暗紅色紙樣而言，令筆者聯想與某儀器商提供之色變物標準色樣顏色十分近似。利用電腦配色儀進行配色試驗時，雖歷經23次修色始終無法達到對色目的。探究其因，十分驚喜發現(見表1及表2)STD-2與Match-2在D65光源下之三刺激值差分別為0, 0.3, 0.1;在A光源下之差值為0, 0.2, 0;這些不同光源下三刺激值之差可謂十分小。但經CIELAB表色系統色差公式計算之色差高達2.4(D65), 1.9(A), 2.0(CW)等不能對色之數值(見表1)。當檢視此二色紙之反射率圖(見圖4)時，發現二曲線在450-700nm處並不吻合，同時Match-2之染色配方雖其染料總添加量已高達5.8%但仍較STD-2之顏色為淺(見表1及2)。此種三刺激值幾乎一致反射率有明顯差異，色差值高達2.0以上不能對色之暗紅色紙由於帶有濃厚之紅色調，與A光源在500-700nm反射率間之相對能量曲線(見圖2)近似，可謂典型之色變現象。

STD-3與Match-3紅紫色紙在冷白日光燈光源下之三刺激值差異最大為X值(0.4)與Y值(0.4)，色差為0.4屬人眼不易分辨之色差範圍。在D65及A光源下之三刺激值差異雖較大但色差值均在1.0以下，屬人眼不易分辨之色差範圍，但就圖5之各色紙反射率曲線而言，在450-520nm(接近人眼視效率敏感處)及620-700nm(人眼不敏感處)有明顯之差距，故以人眼對色時，易隨各個觀測者而有不同的對色程度，故宜以色變指數(即色差大小)來表示較客觀⁽¹⁾。

STD-4及Match-4淺藍色紙之反射率圖(見圖6)，雖在人眼敏感之520-580nm波長域很吻合，但在其他波長域則不吻合，故以人眼判定對色程度時色差雖分別為0.7(D65光源)、1.0(A光源)、0.7(CW光源)均在1.0以下，但仍無法對色。

由圖7知STD-5牛皮紙色之反射率曲線在460-650nm處幾成30度角的斜直線，此乃市售金黃色牛皮紙色之典型反射率曲線。紅、橙、黃、藍及紫色染料在可視光波域均有其特定之反射率曲線(見圖10)。欲藉色混原理(Color mixing)完成一斜直線反射率以達對色絕非易