

色彩恆常性與繪畫用色

Color Constancy and the Color Usage in Paintings

學生：張柯衍

Student : Ko-Yen Chang

指導教授：陳一平

Advisor : Dr. I-Ping Chen

國立交通大學

應用藝術研究所



碩士論文

A Thesis

Submitted to Institute of Applied Arts

National Chiao Tung University

in partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master

in

Design

Aug. 2008

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十七年八月

色彩恆常性與繪畫用色

學生：張柯衍

指導教授：陳一平

國立交通大學應用藝術研究所碩士班

摘要

色彩恆常性是人類色彩視覺中相當重要的屬性之一，它有助於我們適應各種多變的環境，人們對於這種屬性常常察而不覺。長久以來色彩恆常性的發生也常常反應在繪畫的用色上，直到印象派才有所改變。這是很有趣的現象。



本研究希望透過以電腦模擬繪畫過程的實驗來了解色彩恆常性對於繪畫用色的影響及它如何影響畫家選用色彩。並希望能發展出一套有效的訓練方法，使人們可以了解色彩恆常性的發生，此外也能了解感官給予我們的限制。藉此啟發更多的創造力。

實驗的方式是讓受測者在有窺孔及無窺孔的情況下進行調色，以了解在兩種情況下，受測者對色彩的認知有無差異。結果顯示，在有窺孔的情況下，受測者的調色表現較接近實驗時的刺激，並且也較為穩定。

關鍵字：色彩視覺、色彩恆常性、窺孔、繪畫用色

Color Constancy and the Color Usage in Paintings

Student : Ko-Yen Chang

Advisor : Dr. I-Ping Chen

Institute of Applied Arts
National Chiao Tung University

Abstract

Color constancy is one of the most important properties of human color vision .It helps us to better adapt to the changing environment, but we usually are not aware of it. It is very interesting that the color usage in Western paintings in the past had been greatly affected by color constancy until the emergence of Impressionism. However, this fact has not been fully appreciated by art historians.

The purpose of this study is to understand how color constancy influences color usage in paintings, and to develop training protocols to bring the issue of color constancy into the painter' s awareness. Hopefully more creativity could be inspired by such a practice.

In the experiment, the participants do some color matching task in both the normal mode with contextual effect and aperture mode without contextual effect. The results showed that the color perception in the aperture mode is more accurate and stable than that in the normal mode. The implications for art educators are discussed.

Keywords: color vision, color constancy, aperture, color usage of paintings

誌謝

在應藝所的兩年的研究生生活轉眼間就過了，兩年的時間很短，才剛適應了新竹的一切就到了該說再見的時候，心中有許多不捨。我覺得很幸運，遇到了許多值得我學習的人，也有太多人要感謝。

首先要感謝我的父母還有阿公阿嬤在我要考研究所時給我無條件的支持，讓我完全沒有後顧之憂，藝文空間的羅姊和小光姊，藝文空間的工讀機會讓我減輕了很多經濟壓力，還有許多在台北的朋友，有時找我去外拍，打電動或是打保齡球，在課業之外能好好休閒，其實我很怕一個人悶在家，還好有你們在。

研究所的同學們還有學長姐們也給我莫大的幫助，感謝精明的 Tiger 學長教我如果寫實驗的程式，感謝幽默的智祥學長教導我如何配置實驗的環境，感謝美麗的翠如學姐幫我檢測應體設備，及教導我一些專業知識，還有溫柔的佳寧學姊教導我如何做統計，沒有你們我真的做不出來，你們太厲害了，謝謝你們的耐心與指導。還有同實驗事的同學俊安教我如何寫程式，讓我事半功倍，意玟教我如何控管時間，詩婷常帶動氣氛，許多畢業學長姊的論文也都幫了我很多忙，雖然沒有見過面，你們也都是我生命中的貴人，VLAB 是個歡樂的大家族。還有小莫同學，我要謝謝你總是陪我面對學業上和生活上的一切挑戰。

最後我要感謝所有應藝所的老師們，你們永遠是我追求人生目標最好的榜樣，尤其是我的指導教授陳老師，謝謝你耐心又專業的指導，也常常開釋人生的道理，學生我會謹記在心。

目錄

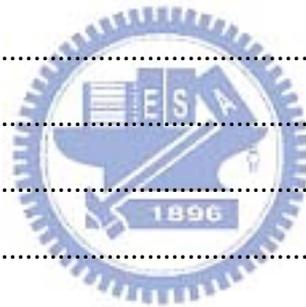
摘要.....	i
Abstract	ii
誌謝.....	iii
目錄.....	iv
圖目錄.....	vi
表目錄.....	vii
第一章 緒論.....	1
1.1 研究動機.....	1
1.2 研究目的.....	3
1.3 研究限制.....	3
1.4 研究架構.....	4
第二章 文獻探討.....	5
2.1 光.....	5
2.1.2 可見光.....	6
2.1.3 色彩模型.....	6
2.1.3.1 RGB 電腦色彩標示法.....	7
2.1.3.2 HSB 電腦色彩標示法.....	8
2.1.3.3 CIELab 色彩模型.....	9
2.1.3.4 色彩差異(color difference).....	9
2.2 知覺(Perception).....	10
2.2.1 視覺系統.....	10
2.2.2 色彩視覺.....	11
2.2.3 色彩恆常性(color constancy).....	12
2.2.3.1 蒙德里安色板實驗.....	12
2.2.3.2 表面色(surface color)與窺孔色(aperture color).....	13
2.2.3.3 影響色彩恆常性的因素.....	14
2.2.3.4 色彩恆常性所導致的固有色觀念.....	15

2.3 繪畫	15
2.3.1 繪畫中的色彩恆常性.....	16
2.3.1.1 印象派之前的繪畫.....	16
2.3.1.2 印象派及其後的繪畫.....	20
2.3.1.3 兒童繪畫.....	21
第三章 實驗	24
3.1 實驗設計	24
3.1.1 實驗變項.....	24
3.1.2 實驗對象.....	24
3.1.3 實驗刺激.....	24
3.1.4 實驗流程.....	25
3.1.5 實驗環境及設備.....	26
3.2 實驗說明	27
3.3 實驗結果	31
3.3.1 情況 A.....	31
3.3.2 情況 B.....	33
第四章 綜合討論	35
4.1 實驗結果總覽	35
4.1.1 依照色塊分類比較結果.....	35
4.1.2 兩組實驗比較結果.....	37
4.2 實驗結果與應用	38
4.3 後續研究與建議	40
第五章 附錄.....	41
5.1 轉換公式.....	41
5.2 色差計算公式 Delta E (CIE 2000)	42
參考文獻.....	43



圖目錄

圖 2.1	5
圖 2.1.2	6
圖 2.1.3.1	7
圖 2.1.3.1	8
圖 2.2.3.1	13
圖 2.3.1.1	18
圖 2.3.1.2	18
圖 2.3.1.4	18
圖 2.3.1.3	19
圖 2.3.1.5	19
圖 2.3.1.6	22
圖 2.3.1.7	22
圖 2.3.1.8	23
圖 2.3.1.9	23
圖 2.3.1.10	23
照片 3.1.5	26
圖 3.2.1	27
圖 3.2.2	27
圖 3.2.5	28
圖 3.2.6	29
圖 3.2.3	29
圖 3.2.4	30
圖 4.1.1	37



表目錄

表 2.1.3.4	9
表 3.2.1	31
表 3.2.2	32
表 3.2.3	33
表 3.2.4	34
表 4.1.1	35
表 4.1.2	36



第一章 緒論

1.1 研究動機

繪畫長久以來被視為一種神奇的能力，常常被認為是一種與生俱來的天賦，大部份的人生來都具備可以看懂這個世界的視覺能力，但是用手把眼中所理解的世界畫在紙上卻似乎又是另一回事，具有繪畫天分的人比一般人多了什麼能力、以至於他們畫筆下的世界如此栩栩如生呢？貝蒂·愛得華博士，在她的著作*像藝術家一樣思考*中提到「畫得好」，前提是「看得好」(Edwards, 1999/2004)。仔細觀察被描繪的物體是繪畫中很重要的一個環節，然而所有以人類官能所接受的外界資訊，如視覺影像，其實都經過了感官的重新取樣以及大腦的運算處理，我們知覺系統使用特定的原則對外界事物進行加工、促進大腦的理解，但是有時候處理的結果有可能導致錯覺，或不忠於原來刺激的物理性質。使用有限的知覺能力有時會引起物理上不客觀的觀察結果。在古典的寫實繪畫的表現中偶而發現這類現象，例如色彩恆常性(color constancy)影響繪畫的物體用色。色彩恆常性是大腦對於物體表面色彩在不同照明條件之下、仍然對其迥異的反射光譜組合進行適當的補償與運算，以及維持我們不至於因為物體換了一個光源而認不出它來，因此1 在陰雨天或鎢絲燈光之下我們還是會感覺一顆蘋果呈現色調不一的紅色，而不會認為它變成暗紫色或橘黃色。在色彩恆常性運作得如此完美而自然的情況下，我們會誤以為顏色是物體的一種不變性質，而難以穿透直覺、接受其實在光線瞬息萬變的環境下，經物體反射到視網膜的光線波長已經改變的事實。因此在古典繪畫當中經常可以看到無論怎麼樣的照明條件與背景設定，特定物體總是傾向於被使用幾種固定的顏料進行描繪，色彩恆常性造成的固定表面色的用色習慣，要到相當晚近的印象派畫法才得以突破。

生理心理學家 Roger W. Sperry 對於大腦功能研究發現，人類的左、右腦功能上有顯著差異。其他對於腦傷病患的研究也有類似的結果。而後由其他學者發展出左右腦思考模式的理論。例如貝蒂·愛得華博士將其歸納為擅長語言的、分析

的、連續的左腦思考模式及擅長形象化的、感知的、刺激的右腦思考模式。(Edwards, 1999/2004)

繪畫是轉換思考模式的良好媒介，繪畫時能促進感知及圖像化思考方式。許多企業中所採用的創意開發課程中，也利用繪畫來訓練以啓發學生，。雖然左、右腦思考模式並不是思考模式的絕對分野，也沒有絕對的優劣之分，但為開發思考能力，似乎可做為訓練的一個指標。也許我們應該以開放的心胸接受各種思維，以免陷入僵化思維的困局中。

國內教育注重的科目多有利於語文及數學邏輯能力的培養，而美術及音樂等等課程，在基礎教育中常常居於次要的地位，甚至被視為教育中附加的才藝課程，可能造成思考及價值觀的僵化。而傳統的繪畫教育中，常常由老師指導學生使用色彩的技巧，例如天空使用鈷藍或群青，描繪皮膚時用橙黃加上玫瑰紅和少許檸檬綠，陰影內再加上補色，此外畫室中所統一選用的顏料也常固定不變，經驗的傳承使學習速度加快，但也很容易使學生形成習慣性的用色，漸漸的在描繪同一類形的主題時容易疏於觀察物體，使用了制式化的色彩。

本研究希望能對此現象提出建議，透過實驗的方式來了解色彩恆常性的運作的特質，及它如何影響畫家選用色彩，進而發展出有效的訓練方式，能讓學生能夠確實且有效的經驗到認知中及現實中的色彩有所差異，能夠更加準確的關觀察色彩，而在繪畫用色上有更多參考的依據，也能達到更好的表現。更進一步，這個訓練方式不只能夠運用於美術教育，更希望能擴及其他領域，能夠啓發學生對於眼前的世界保持清醒，並且抱持著好奇心去探索。

1.2 研究目的

影響色彩視覺的條件非常多，色彩恆常性是其中之一，也是色彩視覺中重要的特質，由於它發生的快速且自然，一般人難以察覺，以至於在其影響之下容易形成固有色的觀念，進而表現在繪畫作品中。

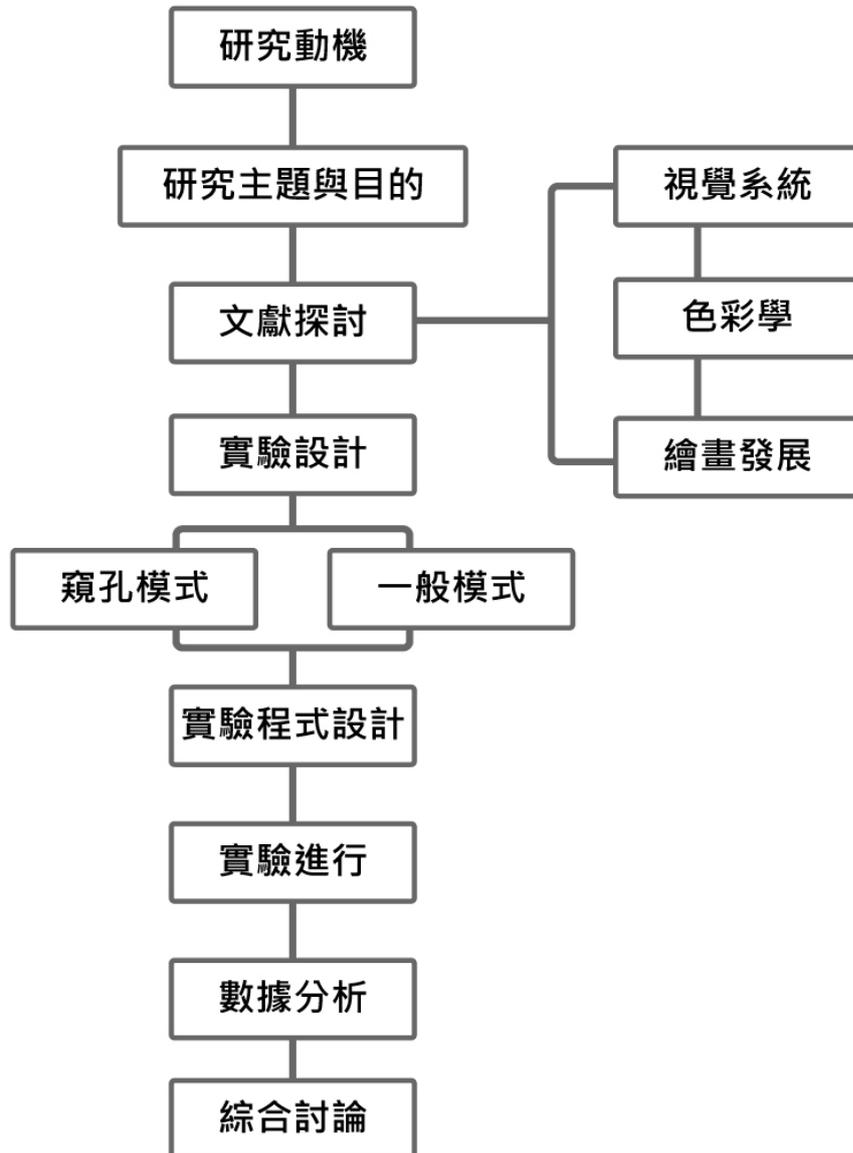
本研究以色彩呈現的方式作為變因進行調色實驗，以了解色彩恆常性中脈絡效應對於色彩視覺的影響，及其運作的方式。並且，希望能夠進一步發展出有效的訓練方法，能夠解除色彩恆常性的效應，以使人能意識到其發生。期待透過這樣的訓練，能讓擅長處理感知及圖像化思考的右腦活動增加，在偏重左腦思考的教育中，促進全腦的平衡發展，而不僅止美術人才能夠在專業領域表現更加傑出，各年齡及領域的人都能受惠。

1.3 研究限制

- (A)本研究是探討色彩恆常性與繪畫用色，將以顏色較為多變的西方繪畫為主，其中可以探討的線索也較為豐富。
- (B)本研究所進行的實驗將在桌上電腦模擬繪畫時對於色彩的認知過程，以利於控制變因，如光源、顏料等等，並且實驗結果的計算與統計也較為可行。
- (C)受測者均接受色彩能力的檢驗，並且熟悉操作桌上型電腦，但受測者個人的繪畫能力及程度則不在探討範圍之內。

1.4 研究架構

本研究以實驗的方式來檢驗脈絡效應對於受測者調色作業的影響。初部商討研究方向後，搜集並整理相關文獻。實驗經過數次改良，正式實驗後將實驗結果資料統計並互相比較，進行綜合討論。本研究的架構與流程圖如下：



第二章 文獻探討

本研究重點為探討色彩在窺孔模式以及有豐富背景色兩種觀看條件之下呈現出來的色外觀(color appearance)的差異，以下介紹色彩知覺相關的背景文獻。

2.1 光

眼睛是人類最依賴的感官，人類的眼睛猶如相機，是非常精巧的光學系統，眼睛從環境中所接收的訊息即是光。近代我們對於光和色彩的了解是從 1666 年 Isaac Newton (1642~1726)著名的三稜鏡實驗，以及日後 Newton 所發表的一系列實驗開始。太陽白光通過三稜鏡之後，會被分解為七彩的光線；所謂彩虹七色是一種概略的分法，如果更加細分的話，可分解出更多色彩(大田登, 1997/ 2003)。

物體在絕對溫度大於零的狀態下，分子間的互相運動產生了熱輻射，物體會自然的放射出輻射能量，也就是電磁波，光線是電磁波的一種，其物理屬性是波長，也就是波峰與波峰之間的距離。人只能看到波長約 400 至 700 奈米(nanometer)的光線(電磁波)，但這只是電磁波光譜中的一小部份。太陽光的光譜相當完整，其輻射的能量在可見光光譜內有近乎均勻的分布，有豐富的波長，是色彩視覺良好的光源。

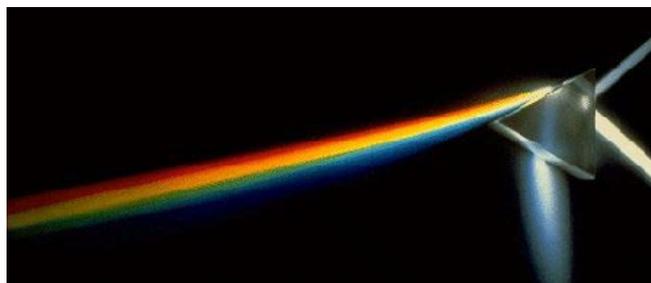


圖 2.1 三稜鏡將分解為七彩的光線

2.1.2 可見光

將電磁波依照波長排列，人類可以看見的這一段波長稱為可見光(visible light)，可見光只佔了整個電磁波光譜中很小一部份。

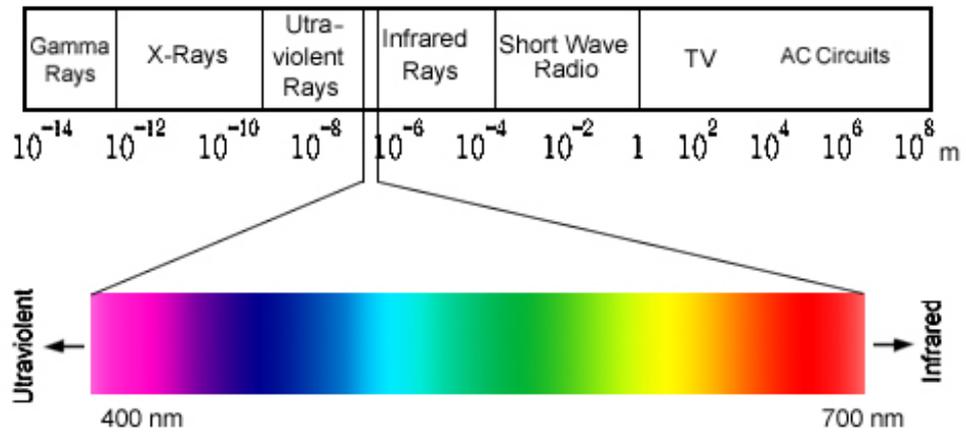
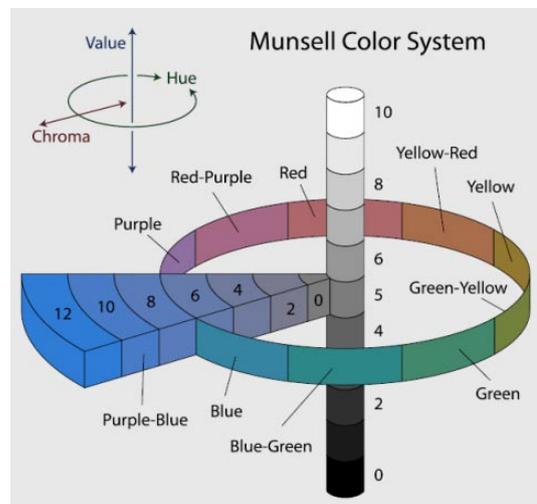


圖 2.1.2 可見光光譜於電磁波所佔的部份

2.1.3 色彩模型

雖然人的可見光是波長約 400~700nm 左右的光線，只是完整光譜的一小部份，在這一範圍的色彩的空間中，人類能區分約七百萬種不同的色彩，並且發展出了許多色名，常見的如紅色、藍色、黃色等等，更有一些命名法中，加入了文化、感情，或是材料的因素。如印地安紅、祖母綠、鈷藍等等。但隨著時代、環境、及語言的變遷，時空及文化的隔閡使各種色名的原意往往變的模糊，以至於這些色名不足以精確的溝通人類可見的色彩，所以我們必須發展出一些更精準的方法。如孟賽爾表色系統(Munsell color system)，是 1905 年由 Albert Henry Munsell (1858~1918)所創立的孟



賽爾表色系統(Munsell color system)，孟賽爾表色系統以色相 (hue)、明度(value)、顏色濃度(chroma)為標示色彩的三個向度，並且發行標準化的色票，可以藉由眼睛直接確認色票，因此相當容易理解，但色票數目有限，且不易計算。

本研究為順利搜集及計算實驗結果，採用較適合電腦系統的定量，以下加以介紹：

2.1.3.1 RGB 電腦色彩標示法

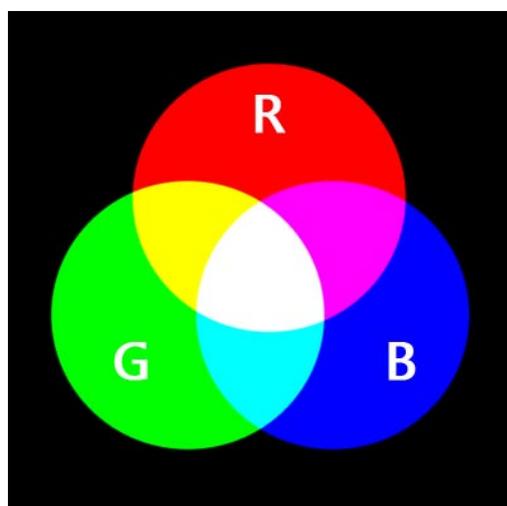


圖 2.1.3.1 RGB

RGB 是一種加法混色的色彩模型，RGB 分別代表 red、green、blue 三種色光。國際照明委員會(CIE)在 1931 對 RGB 標準光源做了定義。

- (1)原刺激[R], [G], [B]為 $\lambda_R=700.0\text{nm}$, $\lambda_G=546.1\text{nm}$, $\lambda_B=435.8\text{nm}$ 的單色光
- (2)基礎刺激[R], [G], [B]是以等量光譜(equi-energy)的白色刺激為基準。這時的原刺激若以測光量單位 1.000 : 4.5970 : 0.0601 的比例混色，將和白色刺激產生等色。

此一標準可視為正常色覺者之配色函數平均值。具有這種平均配色函數的假想觀測者稱為 CIE1931 標準色觀測者(CIE1931 standard colorimetric observer)(大田登,1997/ 2003)。

RGB 電腦色彩標示法則是運用在電子設備中，以三種色光之比例來標示色彩的標色方法，通常單一色光依輸出強度分成 256 階，有兩種表示方法，一種為以

0~255 分別表示 RGB 的值，第二種為 0~f 的 16 進位標示方法，例如紅色則表示為(255,0,0)或是#FF0000，黑色為(0,0,0) 或#000000。RGB 電腦色彩標示法因為在程式撰寫及系統設計上能以較少的資源以表現色彩，並且可以達到一定的顯示效能，目前廣泛的應用在各種顯示裝置上。

但由於在大多數的情況下進行與知覺相關的實驗時，RGB 電腦色彩標示法無法讓受測者直覺的進行調整，因此不適合用在人機介面上(Jackson , 1994)，本研究之實驗的介面採用較為直覺化的 HSB 色彩模型，並且以公式轉換成 RGB 的數值，並輸出於螢幕。

2.1.3.2 HSB 電腦色彩標示法

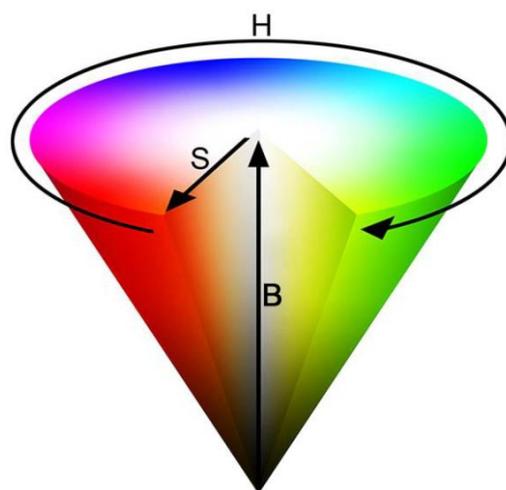


圖 2.1.3.1 HSB

1978 年 Alvy Ray Smith 創立了 HSV 色彩模型，是以畫家做畫時進行顏料調色的觀念為靈感，HSV 代表 Hue(色相)、Saturation(飽和度)、Value(亮度)。Adobe System 公司將 HSV 納入 PostScript 頁面描述與言後，將其改名為 HSB，B 代表 Brightness(明度)。相較於 RGB 色彩空間，HSB 色彩模型是較直覺化的介面，有利於實驗進行，本研究的實驗介面即是採用 HSB 介面，期待能使受測者調色過程順利進行。

由於 RGB 及 HSB 都不是均勻色彩空間，且它們皆屬於設備從屬(device depended)的色彩描述法，會因為顯示裝置的不同而在色彩表現有所差異，難以評判色差。因此本實驗的色差計算將在 CIE Lab 色彩空間內進行。以數學公式換算的方式將 RGB 色彩特性描述的資料轉換至 CIE Lab 色彩模型(公式請見附錄)。

2.1.3.3 CIELab 色彩模型

對於色彩模型而言，色彩空間均勻化是發展的重要課題。CIE1931XYZ 色彩空間採用數學比例方法，描繪所要匹配色彩的三刺激值的比例關係；CIE1960UCS 改善了色彩空間中色相的分布，但亮度因素沒有被均勻化。為了進一步改進和統一色彩評價的方法，1976 年 CIE 推薦了新的色彩空間及其有關色差公式，即 CIE1976LAB 色彩模型。

2.1.3.4 色彩差異(color difference)

本研究採用國際照明委員會（International Commission of Illumination，簡稱 CIE）所發表的色差計算公式 dE2000，CIE 稱色彩差異的距離為公式 Delta E (ΔE^*)，以量化的方式計算並表示人對於兩種色彩之間感覺的差異程度(公式請見附錄)，而非單純數學上的距離。所計算出的數值越高，表示差異也越大，請參考表 2.1.3.4。

表 2.1.3.4 人類對色差的感知差異程度

差異程度	ΔE^* 計算結果
微小	0~0.5
稍微	0.5~1.5
能夠感覺	1.5~3.0
明顯	3.0~6.0
很大	6.0~12
截然不同	>12

2.2 知覺(Perception)

人類自出生以來，不斷學習使用自己的身體，包括四肢的運動，發出聲音，觸摸東西，而我們的身體有一套非常精巧的感知系統，讓我們能看見，聽見，感覺、認識外在世界。黑夜中，我們能從 20 哩外看見蠟燭的火燄，安靜空曠的房間裡，能聽見一根針掉落地面的撞擊聲。成人對於這些能力都已經習以為常，也常常以為這些動作都是簡單的過程。然而至目前為止，由於這些過程相當複雜，我們尚無法完全了解人類知覺的機制。

人類的各項感官，經過眼、耳、鼻、口、皮膚等周邊受器接受訊息，並經過種種神經細胞的處理，形成我們知覺到的外在世界。我們的知覺系統是主動的建構與組織訊息，因此知覺的產物並不同於感官所接受到的刺激。(陳一平 & 葉素玲, 2007)，光是刺激的原因，色是感覺的結果(林書堯, 1990)，舉例來說，眼睛所接收的光線是一種電磁波，是由我們主動的賦予它色彩這項屬性。



2.2.1 視覺系統

眼睛是視覺的門戶，人們常常以照相機來比喻眼睛的構造，但也僅限於成像系統的對應。環境中的光線是通過了角膜、虹膜、瞳孔，並在水晶體集中與反轉，最後成像在視網膜上。視網模如同相機中的底片或是感光原件，不同的是視網膜可以工作的亮度範圍比許多底片高出不少。光線的刺激被視網膜中的各種 photoreceptor 轉換成神經訊號，並經過視神經 (optic nerve) 傳遞至大腦視覺皮質區，在這個過程中有許多機制，使資訊被壓縮、簡化。

視覺皮質區位在大腦的後方，目前依我們對視覺皮質區的了解，概略可以分成包含 V1、V2、V3、V4、V5 等區域在內的 50 幾種以下的部位，其中不同區域各有其專化的功能。

V1 與 V2：這些區域和視知覺的早期階段有關。它們包含不同的細胞群，對色彩和形狀產生反應。

V3：這些區域內的細胞會對形狀(尤其是運動中物件的形狀)而非色彩產生反應。

V4：在這區域內的絕大多數細胞均會對色彩有所反應，而且許多細胞也會對直線方向有所反應。

V5：這個區域專司視覺運動(Zeki 在宿霧猴的研究中發現，這區域內的所有細胞均會對運動有所反應，但對色彩無動於衷)。(Eysenck & Keane, 2000 / 2003)

2.2.2 色彩視覺

自古以來，學者們對於人類看見各種色彩有許多不同的看法，但大多數於哲學上的討論，直到近代的研究才讓我們對於色彩視覺的了解才有了科學的根據。所謂色彩視覺跟人類眼睛的構造很有關係，在人類眼睛視網膜中的感光細胞(light-receiving cell)有四類，分別為一種桿狀細胞(rod)和三種錐狀細胞(cone)，桿狀細胞的視覺反應強度和所接受到的光子數量有關，相較於其他錐狀細胞，桿狀細胞對光線的強弱、明暗敏感度更高。

錐狀細胞可以分為三類，它們分別對不同波長光線的吸收功能，是人類色彩視覺的特徵，(Gegenfurtner & Kiper, 2003)，它們各有不同的感光色素，分別吸收可見光中的短、中、長，波長的光線，並且對此波長範圍內的光線產生興奮反應。但是波長並不是色彩視覺的唯一條件，我們所經驗到的色彩是(1)光源之光譜；(2)物體吸收與反射光譜；(3)個體的知覺分析歷程(大腦所負責)三者共同貢獻的結果，不是任何單一因子決定一切的運作方式。(陳一平, 2008)。視網膜上的感光細胞做出反應後，仍有一段相當巧妙且複雜的機制，才成為我們的感覺經驗，以供我們判斷環境中的各種訊息。其中知覺的恆常性是很重要的項功能，它讓我們能夠在人體有限的資源下，以一種「以不變應萬變」的方式應付各種瞬息萬變的環境資訊。

2.2.3 色彩恆常性(color constancy)

是色彩視覺系統中最重要特質之一，它是一種無關照明狀況的因素，而賦予物體色彩的能力 (Gegenfurtner & Kiper, 2003)。而這種能力仰賴著從視網膜一直到大腦皮質中一連串的计算(Kraft & Brainard, 1999)。在很多情況下，我們會無視於環境光源改變，所造成從物體反射光線波長產生的變化，變化的範圍可能相當大，我們仍然對物體的顏色做出相同的判斷。

舉例來說，我們不論在白天或、黃昏、晚上或是在室內，看到同一個人，我們都會覺得他(她)的膚色是一樣的皮膚色，而不受光源及反射光線波長的改變影響，但若此人晒黑了，我們卻能判斷出他的膚色變化，這是一種相當神奇的能力。

近年來數位相機相當普遍且技術精進，數位相機中的白平衡功能乃是為了配合人類視覺色彩恆常性所設計，數位相機所記錄下的訊號是光線的強度及波長，但若不做白平衡的調整，許多照片的顏色將會非常不自然，但數位相機的白平衡機制仍不夠完善，無法在所有情況下得到能看起來最自然的影像。橘子是橘色，蘋果是紅色，但我們看到的顏色不是實際的光線波長，而是我們大腦一連串運算的結果，經過了許多研究中，其運作的機制我們仍無法完全掌握，值得深入探討。

2.2.3.1 蒙德里安色板實驗

探討色彩恆常性的實驗中，Edwin Herbert Land 的蒙德里安色板實驗是最著名的實驗之一，這個實驗名稱的由來是因為色板看起來和蒙德里安的畫作很類似(如圖 2.2.3.1)，圖片的下方可以看到有三具分別可以調整強度的紅、綠、藍色投射燈，右方則是一台測光的儀器，可以測得色板表面所反射的紅、綠、藍三種光線的強度。在這個實驗中，受測者將在不同比例燈光照射的條件下，回答指定色塊的顏色。

當某一色塊反射出三種光線的比例為紅光 30 單位 60 單位 10 單位，受測者通常回報為綠色，在這個情況下，綠色的光線強度為紅色的兩倍，並遠比藍色要高。但是在另一種情況下，經過調整燈光的比例，同一塊色塊測得的光線比例為紅色 60 單位，綠色 30 單位，藍色 10 單位時，大部份受測者依然回報為綠色。

這個實驗証實了色彩恆常性的效果，也就是我們對於色彩的感覺，不是單由進入眼睛的光線波長所決定，以 Land 的實驗而言，包圍一個色塊的鄰近其他區塊的顏色對於決定目標區塊的顏色有舉足輕重的影響，而這也就是下文所提的色彩的脈絡效果。

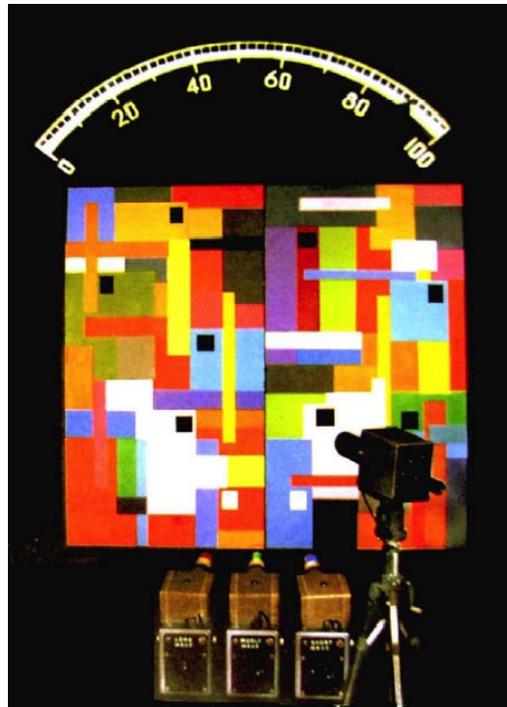


圖 2.2.3.1 Land 的蒙德里安色板實驗

(圖片引自 Zeki, *Inner vision-An Exploration of Art and the Brain*, 1999)

2.2.3.2 表面色(surface color)與窺孔色(aperture color)

色彩外觀的議題常常在色彩科學中常常被提出來討論，例如一個亮度、彩度、色相等條件完全一樣的顏色在被視為表面色及被視為窺孔色的兩種狀況下，所表現出來的外觀和給人的感覺是相當不同的。

在 Shin, Uchikawa 及 Ikeda 的研究(1993)中探討了在窺孔及表面色的兩種狀態

下，人對於 11 種基本色彩分類的情況。在這個研究中的視覺刺激由 CRT 螢幕所產生，窺孔狀況下有 93~94 色，表面色模式下有 80~81 種顏色。此實驗將窺孔色定義為視覺刺激的周圍為被黑色包圍的狀況；而表面色的情況，則將所有其他可能出現在刺激物周圍的顏色作平均，定義為亮度 29.6 cd/m^2 的灰色，而表面色的視覺刺激的周圍被這個灰色所包圍所包圍的。受測者看到刺激後將它分類到白、灰、黑、藍、綠、黃、橘、棕、紅、粉紅和紫色等 11 種基本色類別中。結果顯示，在窺孔色模式下，顏色的分類幾乎只依據了色度(chromaticity)，在表面色的模式情況下，顏色分類則依據了色度及亮度(luminance)兩種條件。(Shin, Uchikawa and Ikeda, 1993)。例如以 RGB 描述的色彩(220,220,0)及(30,30,0)分別是亮度高的黃色及亮度低的黃色，在窺孔色模式下，大部份的人會將這兩色視為黃色類，但在表面色模式下，亮度低的黃色則會被視為綠色或是棕色。實驗說明了脈絡效應(context effect)，也就是色彩的周圍環境等等因素，影響了我們對於色彩的判斷。

本研究所設計的實驗即是透過窺孔來達到遮蔽脈絡效應的效果，但由於實驗目的不同，對於窺孔的定義及實驗設計也有所不同，在第三章實驗設計中會詳加以說明。



2.2.3.3 影響色彩恆常性的因素

使人表現出色彩恆常性的因素大至有以下三類：

1. 色彩適應(chromatic adaptation)

例如觀察者若身處於充滿長波長光線的環境中，處理長波長的細胞逐漸疲勞，而和其他細胞所做的回應達到平衡。

2. 熟悉度

例如郵箱是我們熟悉的物品，所以在不同的光源照明下，我們常常都會認為它是紅色的，顏色沒有改變。

3. 脈絡效應(context effect)

Land 的視網膜腦皮質理論(Retinex theory) 認為辨識色彩時會和環境中其他鄰近的色彩做比較，以做出較為正確的判斷。(Eysenck & Keane, 2000 / 2003)

色彩恆常性的發生是存在於大腦中，但效果也有限制，並不是在所有狀況下都能發生作用，比如說，對於辨識不熟悉的物體時，或被觀察物位於波長分布極度集中的光源之下而不利於三種錐狀細胞平衡的運作時，色彩恆常性的效果將會減弱甚至瓦解，視覺的最基本的刺激乃是光線強弱以及其波長，大腦對於色彩的判斷，不能完全不考量光線的條件。

2.2.3.4 色彩恆常性所導致的固有色觀念

由於色彩恆常性的發生無所不在，我們常常無法察覺，也造成了我們會把顏色當成是物體中，如同密度和熔點等等不會改變的屬性的誤解，反應在繪畫中，不論是成人或者兒童，若沒有經過相當時間的繪畫訓練，在描繪一些熟悉的物品時，常常會使用刻板印象中的顏色，比如說，畫出紅色的蘋果、藍色的河流、或是黑色的馬路，等等，甚至於對於一些物體之外的條件，我們也會附與顏色的特質，例如金黃色的陽光，黑色的陰影。在許多繪畫作品中都可見到這種現象，尤其是具像及寫實的繪畫，這些現象並不減損繪畫作品的價值，但反映了作畫者對於顏色抱持的態度。有關於這些現象，在<2.3 繪畫>中予以討論。

2.3 繪畫

繪畫是人類之於其他生物，相當特別的行為。一八七九年，在西班牙北部發現的阿塔密拉洞窟壁畫，可能是近代發現最早的繪畫作品，年代約為西元前一萬五千至一萬兩千年，這些壁畫可能是某些儀式的一部份，或者有其他目的，但繪畫內容相當生動，在史前時代，人類就展露了繪畫的天份，而後一直到了現代，繪畫對於人類而言，是無價的文化資產。

對於繪畫而言，無論在傳達寫實性質或者是表現畫家心中的情感，色彩承載資訊的功能相當重要，從畫家對使用顏色的觀念或技術，甚至透露出了當時的科技能力、時代背景、畫家的心境或生理狀況等等條件。

2.3.1 繪畫中的色彩恆常性

色彩恆常性的發生非常迅速且無所不在，難以察覺它的作用，導致了我們認為色彩是附著在物體表面的屬性的錯覺，也就是固有色的觀念，對於許多畫家也是如此。在西方的繪畫史中，直到十九世紀的印象派之前，有很長的一段時間，畫家運用色彩時受到固有色觀念的影響，在具像、寫實的繪畫中，更有可能透露出這樣的現象。

以下希望透過分析一些繪畫名作，來了解色彩恆常性對繪畫用色的影響，但對於這些畫作當時所描繪的人造物品，我們無法了解在當時該物品的實際色彩，在挑選時，盡可能挑選出現自然景物的作品。

有些作品並沒有受到固有色的影響，原因可能是畫家在作畫時，並非想要表現寫實的色彩，而有意的使用了差異相當大的顏色。但在大部份的情況下，畫家在進行具像或是寫實的繪畫時，很難擺脫色彩恆常性的影響，以下舉西方繪畫為例。

2.3.1.1 印象派之前的繪畫

中世紀時，對用於繪畫的顏色尋找與發明有極大的熱情與貢獻，甚至超越其後的文藝復興時期。此時藍色顏料的價格相較於大地色系相當的昂貴，畫家們在使用時多有所斟酌，因為有這如此的條件，畫家們使用藍色的時機，更能夠透露出固有色概念對於繪畫的影響。

喬托（Giotto di Bondone, 1267~1337）是中世紀時期的重要畫家之一，有許多的蛋彩畫作品及宗教壁畫作品，在喬托的許多作品中能發現他是大地色系為底色，之後再疊上其他顏色，圖 2.3.1.1 及圖 2.3.1.2 分別是喬托在約西元 1300 年前的作品“Saint Francis Giving his Mantle to a Poor Man”及“The Devils Cast Out of

Arezzo”，他將較於昂貴的群青及石青用於天空，這一系列的作品皆以類似的手法進行，雖然中古世紀的顏料技術較為不穩定，天空的部份仍微微透出了底色的土黃色及棕色而稍微偏綠，仍然可見喬托在作畫時，將藍色視為是天空的固有色以至於在挑選顏料時願意將較貴的石青塗布於大片面積的天空上。不過整體而言，中世紀繪畫中的造形與色彩象徵性均大於描寫性，因此不是在此所關注的重點。

提香（Titian, approx 1495 ~ 1576）是義大利文藝復興時，威尼斯畫派的代表人物之一，提香的作品構圖嚴謹，並且重視色彩的運用，畫作色彩相當鮮明。圖 2.3.1.3 是提香的作品 “The Three Ages of Man”，可以發現提香在描繪天空時是使用了藍色及白色，在提香的另一幅作品 “The Worship of Venus”（圖 2.3.1.4）中亦然，可見天空是藍色的這種觀念早在幾百年前就已經形成。

此外 “The Worship of Venus” 這幅作品的地面上由遠到近有許多幼童，可能是想像的構圖，實際上若有這樣的場景，從遠到近的照明條件變化應該相當的大；畫作中的幼童很有可能是畫家經過數次觀察真實的模特兒並加以練習後，呈現在這幅作品中，我們很容易可以發現不論在遠或在近，幼童的膚色的色相，飽和度或是亮度都很接近；可以推測提香認為這種顏色皮膚的固有的色彩，所以在描繪時沒有多加改變。

兩百多年後，新古典主義中的重要畫家安格爾〔Jean-Auguste-Dominique Ingres, 1780 ~ 1867〕也可以看到受皮膚固有色的影響的現象，他的作品 “The Turkish Bath”（圖 2.3.1.5）中，除了以較高的彩度強調出主題之外，背景中描繪了許多身體，色相、明度、飽和度都很接近，但如提香在 “The Worship of Venus” 的用色表現，這些身體的照明條件應該相差很大，但在色彩恆常性的影響之下，安格爾也將皮膚色視為身體的固有色，而不加改變的描繪之。



圖 2.3.1.1 Saint Francis Giving his Mantle to a Poor Man, before 1300, Giotto di Bondone

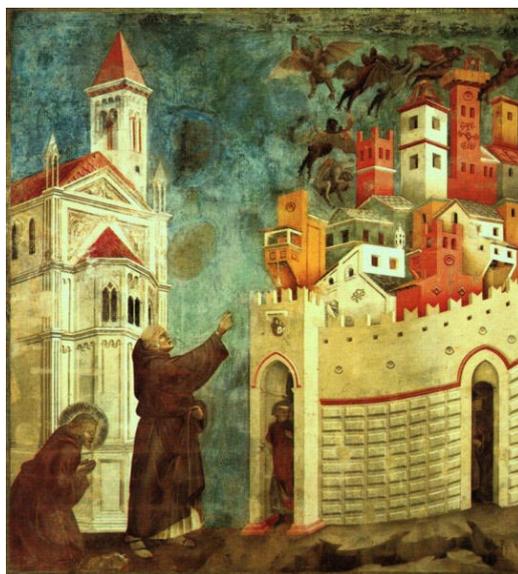


圖 2.3.1.2 The Devils Cast Out of Arezzo, before 1300, Giotto di Bondone



圖 2.3.1.4 The Worship of Venus, 1516-18, Titian, approx



圖 2.3.1.3 The Three Ages of Man, 1511-12, Titian, approx

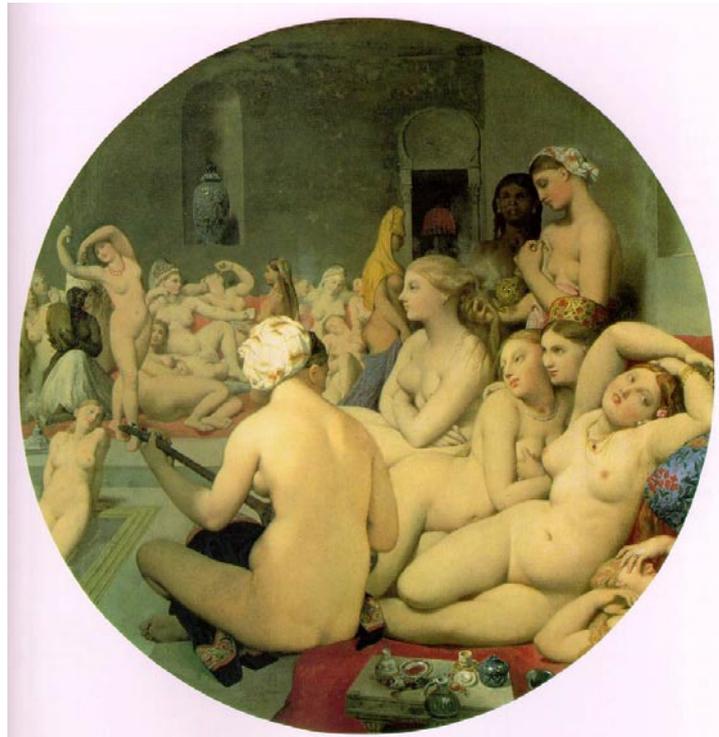


圖 2.3.1.5 The Turkish Bath , 1862, J. A. D. Ingres

圖片資料來源：<http://cgfa.floridaimaging.com/index.html>

2.3.1.2 印象派及其後的繪畫

印象派對於色彩所抱持的態度及運用的方法，在繪畫史上是一個轉捩點，印象派的畫家受到色彩學及攝影理論的影響，他們認為單一色彩是由不同顏色所組成，即使是在陰影內的暗色調，也是由許多顏色混合而成，他們非常專注於觀察色彩的變化，強調光線給予人的感覺。而印象派畫家們在創作技法上也反對學院派守舊的手法，所以手法不如以往的繪畫作品細膩，印象派畫家常利用小筆觸，快速的將不同顏色的顏料在畫布上混色，以即時將所觀察微妙的色彩變化展現於作品中。

莫內（Claude Monet，1840~1926）是印象派初期的核心人物之一，印象派一詞是出於他的一幅作品“*Impression: Sunrise*”。莫內曾經爲了捕捉不同時間的光線變化，在盧昂大教堂前畫下了黃昏、中午及清晨等等時間的樣貌(圖 2.3.1.6)。在莫內的“*Woman with a Parasol*” (圖 2.3.1.7)中，我們可以看見莫內對於天空也使用了藍色，但莫內也仔細的觀察並描繪了在婦女身上洋裝的色彩，白色的洋裝反射了天空的藍色，以及草地的綠色，物體間的光線反射在以往的繪畫中相當少見。另一幅作品“*Grainstack*” (圖 2.3.1.8)中，則可以看到莫內描繪了稻草堆的陰影裡的光線變化，使用了橙色、棕色、藍色…等等色彩，和往繪畫中多以冷色調或者是以黑色混色來表現陰影的手法大不相同。

60年代初期於美國發展的超寫實主義（super-realism）又稱作照片寫實主義（photo-realism），如同它的名稱，作品極度寫實，是由畫家透過攝影的方法捕捉畫面後，以投影的方式，將一般幾吋大的照片放大到百倍面積的畫布上，畫出輪廓後，依照照片上的色彩來上色，色彩恆常性及其他知覺恆常性的效應在這種機械化或半機械化的作畫過程中被降到很低的狀態(圖 2.3.1.9)。

2.3.1.3 兒童繪畫

幼童繪畫時用色常常不依眼前所見的色彩，而選用自己喜好的顏色，圖畫的色彩與實際物體的色彩間或許沒有關係，但與幼兒個人的情感都有著某種關聯 (Lawler & Lawler, 1965)，兒童在 7~9 歲時，開始發現色彩與物體間似乎有某些關係存在，用色不再以隨機的，或是依情感設色；物體固有色的建立和不斷的被使用(圖 2.3.1.10)，是兒童思考過程的一部份。(陸雅青, 1999)固有色的觀念的發展在這個年齡也逐漸完成；約 12 歲之後，兒童已經具有相當敏銳的觀察能力，能夠發現物體在不同環境中有不同的色彩，而能夠較為客觀的表現於繪畫上。然而，觀察力及好奇心旺盛的兒童表現於繪畫上的成果，在國內重視數學邏輯及語文能力的教育制度下常常被埋沒了。

國內的教育制度，從國中開始就設有美術班，高中亦然，但是進入美術班前大都須要經過術科考試，以至於這個階段培養美術人才的教育，常以通過術科考試為目的，然而如此的教學方式，可能造成學生以取得高分為目標，用色以討喜為主，造形也以合理寫實為取向，而放棄運用本身豐富創造力及觀察能力。本研究希望為此現象有所建議，在制式化的美術教育中增加一個訓練流程，而使學生們更能體會世界的多彩多姿。

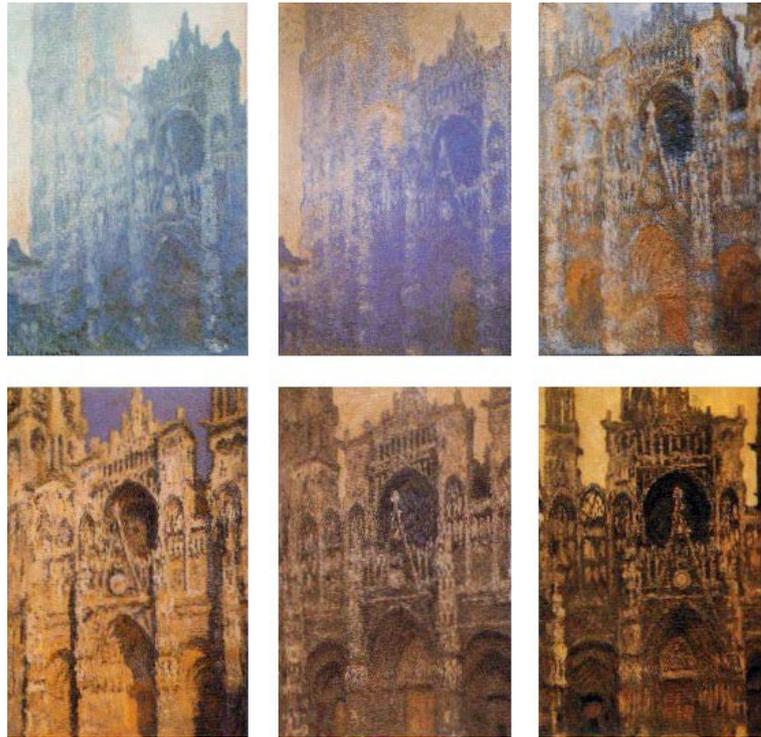


圖 2.3.1.6 Rouen Cathedral, 1892~1894, Claude Monet



圖 2.3.1.7 Woman with a Parasol, 1875, Claude Monet



圖 2.3.1.8 Grainstack (Sunset)



圖 2.3.1.9 Telephone Booths, 1968, Richard Estes



圖 2.3.1.10 9~10 歲兒童繪畫

第三章 實驗

本實驗將以操弄色彩呈現的方式，來探討脈絡效應(context effect)對繪畫用色的影響，但是由於使用傳統繪畫的媒材將會使得實驗的變因增加，如光源、紙張的顏色，顏料的數量，受測者的繪畫技巧等等，可能難以控制，所以將繪畫中，對於色彩認知的這個過程，在桌上型電腦進行模擬操作，以利控制各種變因，及計算實驗結果。最常見的寫實繪畫基礎訓練是在畫室內進行素描及水彩靜物寫生，本研究是探討的主題為色彩，所以將模擬色彩較豐富的水彩靜物寫生。

3.1 實驗設計

透過讓受測者在電腦中進行調色，以了解不同色彩呈現的情況下，受測者對於相同的色彩認知上的差異



3.1.1 實驗變項

本實驗的變項為窺孔的有無，以控制有或無脈絡效應的情況。在窺孔模式中，以擋板遮蔽刺激圖片並在其上打開一個窺孔，受測者在這個情況下只能透過窺孔看見圖片的部份內容。在正常模式中，則不遮蔽圖片。

3.1.2 實驗對象

受測者為 22~28 歲，共 18 位交通大學學生。實驗進行前先進行色盲篩檢，確認色彩視覺能力正常。

3.1.3 實驗刺激

本實驗為受測者內設計，一位受測者將接受兩種情況的調色實驗，即有窺孔

(實驗組)以及無窺孔(對照組)兩種情況，每一情況下有兩張圖片，因為希望每位受測者能順利識別圖片的內容物體，本實驗圖片採用本地常見的水果做為實驗刺激的基礎。

這些水果的照片經過處理，將圖片的顏色從自然的漸層調整為色階，但這一步驟中必須在保持圖片的寫實程度以及使受測者順利選取色塊中取得平衡；將色階分得太細或過於破碎，可能使受測者難以比對及選取，色階分塊太簡單則會使得圖片失去寫實性質，無法模擬實物寫生的狀況。一張圖片轉換成色階之後約有三十個或更多的顏色。在一張圖片內，從水果的主體色塊中選出八或九種顏色，並請受測者進行調色實驗。

3.1.4 實驗流程

實驗流程為：

檢測色彩能力->說明介面->受測者練習->正式實驗->休息->繼續。

實驗分為窺孔模式及一般模式，即有或無脈絡的情況，共兩階段。實驗在遮蔽螢幕以外光源的環境中進行，利用說明實驗及練習介面的時間讓受測者進行暗適應，第一階段先進行窺孔模式的實驗，以避免看過完整的實驗刺激圖片影響窺孔實驗的結果，第一個階段約耗時十~十五分鐘即完成，此時請受測者休息三分鐘，使眼睛休息再繼續進行第二階段，第二階段通常較第一階段耗時，可能因為受測者可以比較色塊後不斷修改顏色所致，約耗時十五~二十分鐘。

3.1.5 實驗環境及設備

硬體

Macbeth SpectraLight II

Pseudo-Isochromatic Plates for Color Perception

Eizo ColorEdge CG241w 螢幕，gamma 設定為 1.0。

電腦主機：

Intel Core2 Quad CPU Q6600

3.5 Gb RAM

Matrox Millennium P650 PCIe 128

Windows XP sp2 作業系統

環境

遮光環境

受測者與螢幕保持約 60cm

軟體

Flash 8

Flashplayer 9.0



照片 3.1.5 實驗環境（實驗時關燈）

3.2 實驗說明

實驗程式以 Macromedia Flash 軟體，使用 ActionScript2.0 撰寫，以 HSB 色彩描述模型為調色介面，轉換成 RGB 電腦色彩標示法，顯示於螢幕，所搜集的實驗結果為 RGB 標示法資料，以利計算。

本實驗使用兩張圖片作為刺激，以下將使用這兩種刺激的情況分別稱為情況 A 及情況 B，兩者在設計上完全相同，僅作為刺激的圖片不同，情況 A 的圖片為蘋果及柳丁，情況 B 為兩種葡萄(如圖 3.2.1 及 3.2.2)，兩張圖片皆由實物照片經過處理，將圖片中的漸增轉為不同色階的色塊。



圖 3.2.1 實驗 A 圖片



圖 3.2.2 實驗 B 圖片

情況 A 及情況 B 中受測者均接受窺孔模式及一般模式的刺激呈現情況，並進行調色，為避免受到記憶影響效果，先進行窺孔模式，後進行一般模式，詳細說明如下：

(1)窺孔模式

窺孔模式是模擬透過窺孔觀察的情形，在此模式下，刺激圖片及待調色區域都被擋板遮蔽，盡可能減少不必要的視覺刺激，左方遮蔽刺激圖片的擋板有一個開孔，大小約為直徑 6.5cm 的圓形，在 60cm 的觀察距離下約為 3°視角，受測者要透過這個窺孔來觀察圖片，右方的待調色區域只在滑鼠滑入色塊時顯示色塊的圖形。當滑鼠游標在右邊的待調色區域內移動時，左方窺孔內也會顯示刺激圖片上滑鼠所在的對應位置(圖 3.2.5)。

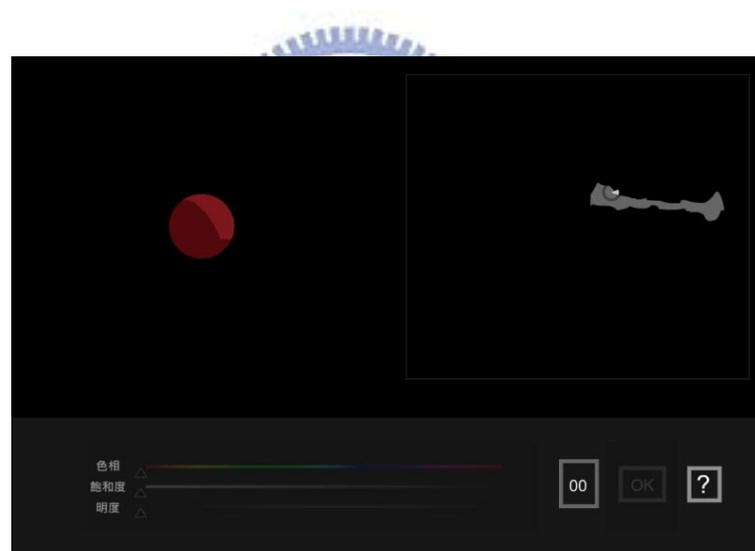


圖 3.2.5 窺孔模式分鏡 1

受測者在右方待調色區域點選欲調色的色塊後，即進入調色的畫面，這個畫面中，選取的色塊改以和窺孔相同面積的色塊，檔板的亮度也調整至和窺孔所見內容相同，以保持每一個色塊與擋板間的亮度對比度相同，此時受測者利用下方 HSB 的調色介面進行調色 (圖 3.2.6)，並盡可能的將右方色塊調色至和左方窺孔內所見的顏色相同，完成後按 ok，則回到上一個畫面。已經調色完成的色塊也從畫面中移除。



圖 3.2.6 窺孔模式分鏡 2

畫面的右下角有一個(?)按鈕，將滑鼠滑入時在畫面上顯示尚未調色的色塊(完成的色塊將被移除)，以幫助受測能順利完成全部色塊的調色動作。



(2)一般模式

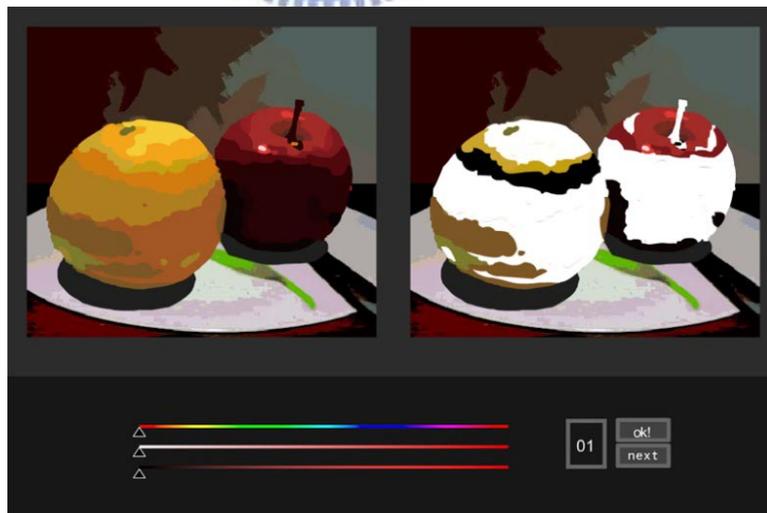


圖 3.2.3 一般模式分鏡 1

一般模式是模擬正常寫生的情況，在此模式下，受測者在實驗介面中會看到左右兩邊個有一張圖片，左邊的圖片為實驗刺激圖片，右邊的圖片中有一部份色

塊被挖空，被挖空(白色)的部份則是待受測者調色的待調色區域 (圖 3.2.3)，此區情況 A 有 9 塊色塊，情況 B 有 8 塊。

受測者在右方待調色區域點選欲調色的色塊後，即可利用下方 HSB 的調色介面進行調色(圖 3.2.4)，完成後選取下一塊色塊進行調色。已經調過的色彩將持續顯示在畫面上，受測者可不斷比較左右兩張圖片，以及色塊和色塊之間的關係，並且也可以隨時修改已經完成的調色，直到滿意為止。

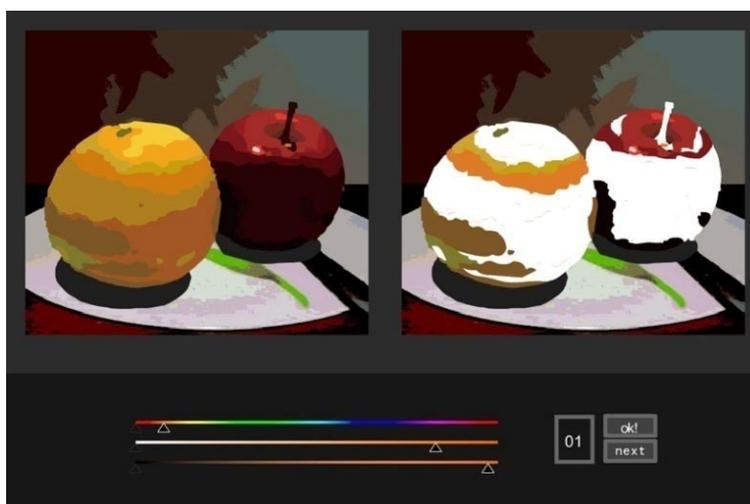


圖 3.2.4 一般模式分鏡 2

3.3 實驗結果

實驗結束即將受測者所調色的資料儲存。

情況 A 共有 18 位受測者，每位均接受窺孔模式及一般模式的調色實驗，每人有兩種模式各 9 筆調色資料，共 18 筆。情況 B 有 13 位受測者參與，每人有兩種模式各 8 筆資料，共 16 筆。兩種情況的受測者來自同一母群。

爲了計算和實驗時所顯示的視覺刺激之間的色差，必須將資料從 RGB 換算到 Lab 色彩空間中，計算之後再將色差加以比較。

3.3.1 情況 A

表 3.2.1 列出情況 A 中兩位受測者的部份實驗數據。

表 3.3.1

受測者	色塊	正常模式						窺孔模式					
		R	G	B	L	a	b	R	G	B	L	a	b
1	1	255	150.2	38.3	73.3	28.7	68.3	209	119	29	78.5	8.5	44.4
1	2	160.7	121.3	48.2	56.4	6.5	44	188	135	35	80.1	0	42.7
1	3	43.4	2.6	2.6	7	24.1	9.9	53	8	8	28.1	49.2	37.8
1	4	89.3	14.3	14.3	20.6	34.4	21.4	81	10	17	35.1	60	-6.9
1	5	33.2	12.3	12.3	8.4	11.7	4.8	40	6	6	25	45.8	34.8
1	6	173.4	92.5	0	50.6	25.8	58.5	158	87	33	70.7	10.1	31.5
1	7	160.7	28.9	28.9	37.1	52.1	33.8	107	33	33	55.4	24.7	10.3
1	8	232.1	193.5	39.4	80.8	-1.5	73.6	216	187	58	88.7	-6.8	42.2
1	9	232.1	158.1	20.9	72.5	15.5	72	226	162	24	85.4	-1.7	55.8
2	1	239	156	31	85.2	3	51.6	224	125	13	79.9	7.8	56.8
2	2	211	163	40	85.1	-3.2	46.4	160	118	27	76	-1.4	42.1
2	3	43	7	8	25.8	46.6	35	40	5	7	24.9	46.1	34.3
2	4	84	11	15	45.9	32.2	10.6	91	8	13	36.4	61.4	-0.9
2	5	28	6	7	21.8	41.9	30.1	30	5	7	22.3	42.8	30.8
2	6	198	107	45	76.4	12.2	32.5	173	87	34	71.5	13.4	32.1
2	7	145	33	35	58.4	34	13.6	137	31	38	57.4	33.9	10.1
2	8	242	204	55	91.7	-6.7	47.6	255	211	56	93	-6	48.8
2	9	249	180	29	88.7	-1.9	56.9	249	172	27	87.7	0	56.9

表 3.2.2 列出這兩位受測者部份的實驗數據經過色差計算之結果，色差的數字越大，代表受測者的反應和實驗時的刺激差異越大。

表 3.2.2

受測者	色塊	正常模式色差	窺孔模式色差
1	1	1.39	3.05
2	2	3.15	1.22
1	3	3.97	1.73
1	4	1.74	1.52
1	5	5.69	2.46
1	6	6.67	7.37
1	7	4.68	3.71
1	8	2.24	1.42
1	9	3.21	2.3
2	1	1.01	1.07
2	2	4.49	0.99
2	3	3.53	1.32
2	4	0.72	1.85
2	5	15.94	1.73
2	6	3.53	5.62
2	7	2.98	0.86
2	8	0.59	2.75
2	9	1.65	0.63

將受測者的實驗數據中超過 2.5 個標準差的離異值移除後，進行 t 檢定，一般模式的色差平均為 3.6828，標準差為 3.3198，窺孔模式平均為 2.5539，標準差為 1.6772，檢定結果為 P 值為 0.00014，情況 A 窺孔模式下的色差顯著小於一般模式。

3.2.2 情況 B

表 3.2.3 列出情況 B 中兩位受測者的部份實驗數據。

表 3.2.3

受測者	色塊	正常模式						窺孔模式					
		R	G	B	L	a	b	R	G	B	L	a	b
1	10	40	69	47	30.06	-16.61	9.73	42	68	19	59.09	-18.02	24.57
1	11	116	140	59	57.79	-21.38	39.21	99	127	7	73.83	-25.06	73.77
1	12	72	99	4	41.94	-23.85	46.63	66	91	3	65.16	-24.25	66.84
1	13	129	161	26	64.22	-28.02	60.12	121	150	7	78.63	-25.43	77.89
1	14	130	21	41	30.39	46.50	16.41	158	0	34	45.47	73.91	-4.19
1	15	89	12	12	20.32	35.05	22.31	79	3	32	35.30	62.66	-19.11
1	16	74	11	11	16.72	30.19	18.17	48	0	16	28.66	54.95	-16.29
1	17	43	2	2	6.88	24.31	9.93	38	1	15	26.48	52.40	-18.85
2	10	51	94	40	39.25	-27.13	26.45	28	68	9	57.22	-31.72	58.69
2	11	133	163	90	65.77	-22.39	33.38	63	102	5	67.23	-29.04	68.09
2	12	83	112	19	46.77	-24.77	45.21	59	94	0	65.35	-27.94	67.19
2	13	153	191	29	74.22	-32.06	68.72	93	114	10	71.22	-22.85	71.31
2	14	133	43	29	34.14	37.13	28.86	91	0	44	37.58	66.39	-23.63
2	15	99	48	45	30.19	22.27	12.51	91	0	52	37.97	67.36	-27.90
2	16	74	32	32	21.66	20.19	9.30	45	0	15	27.96	54.14	-16.43
2	17	36	10	5	6.73	16.55	8.21	17	1	11	20.62	46.07	-24.21

表 3.2.4 列出這兩位受測者部份的實驗數據經過色差計算之結果，色差的數字越大，代表受測者的反應和實驗時的刺激差異越大。

表 3.2.4

受測者	色塊	正常模式色差	窺孔模式色差
1	10	11.01	3.43
2	11	7.74	0.34
1	12	2.53	0.71
1	13	1.33	1.19
1	14	4.05	5.26
1	15	10.48	2.55
1	16	9.00	2.83
1	17	8.76	1.63
2	10	21.54	10.22
2	11	14.14	5.56
2	12	18.71	1.05
2	13	6.29	6.81
2	14	28.36	5.64
2	15	23.64	4.47
2	16	21.51	3.41
2	17	24.66	4.01

將情況 B 數據中超過 2.5 個標準差的離異值移除後，進行 t 檢定，一般模式的色差平均為 6.5512，標準差為 5.5394，窺孔模式平均為 2.6479，標準差為 2.6605，檢定結果為 P 值為 0.000000000818，情況 A 窺孔模式下的色差顯著小於一般模式。

第四章 綜合討論

4.1 實驗結果總覽

本實驗的目的在探討不同呈現方式，即脈絡效應對於色彩認知的影響，在窺孔模式下是否能對於色彩有較客觀的觀察及感受。研究方式是讓受測者對同一張圖片，同樣的色塊進行一次正常模式的調色實驗，及一次窺孔模式的調色實驗，並比較兩者之間的差異。

結果顯示，在窺孔的模式之下，色差的平均值顯著的小於一般模式。也就是在有脈絡效應的情況下，受到色塊周圍的環境脈絡影響，受測者對於色彩的判斷較不客觀（在此以色塊實際發散的光譜內容來定義客觀程度），而窺孔模式下的色差平均顯著小於一般模式，証明了遮蔽周圍環境有助於正確且客觀地觀察色彩。

4.1.1 依照色塊分類比較結果

將情況 A 的結果依照色塊的內容作計算，針對一個顏色在有或無窺孔的狀況下的色差平均進行 T 檢定，結果如表 3.2.3，色塊 1、2、4、6、7、9 在窺孔模式下色差平均顯著小於一般模式下的色差平均。另外，色塊 8、5、3 效果不顯著，色塊 8、5、3 是本實驗中亮度最高及最低的色塊，可能為影響的因素之一。

表 4.1.1 情況 A 結果依照色塊計算色差

色塊	亮度(L)	一般模式 色差平均	一般模式 標準差	窺孔模式 色差平均	窺孔模式 標準差	P 值
1	79	4.35	3.42	2.73	2.25	0.026
2	78.2	4.21	2.17	2.08	0.89	<0.001
3	25.2	2.27	3.95	1.56	1.04	0.318
4	35.2	12.99	8.53	6.59	8.09	0.011
5	25.5	5.3	4.91	5.89	6.06	0.444
6	70.9	4.72	3.89	2.32	1.50	0.008
7	57.6	3.77	5.73	3.76	1.27	<0.001
8	91.9	2.38	1.74	2.07	0.74	0.466
9	86.5	2.75	2.34	1.73	1.14	0.027

將情況 B 的結果依照色塊的內容作計算，針對一個顏色在有或無窺孔的狀況下的色差平均進行 t 檢定，結果如表 3.2.4，色塊 11、12、13、15、16、17 在窺孔模式下色差平均顯著小於一般模式下的色差平均。色塊 10、14 窺孔模式下的色差平均值小於一般模式，但經過 t 檢定發現效果不顯著 ($p>0.05$)，並且色塊 10、14 是情況 B 中亮度最低及最高的兩個色塊，如同情況 A，亮度可能為影響調色作業準確度的因素之一。

表 4.1.2 情況 B 結果依照色塊計算色差

色塊	亮度(L)	一般模式 色差平均	一般模 式標準差	窺孔模式 色差平均	窺孔模式 標準差	P 值
10	24.59	7.06	3.53	4.02	4.02	0.068
11	31.75	7.78	3.93	3.07	3.71	0.002
12	37.66	6.80	5.15	2.21	1.26	0.003
13	42.39	5.62	3.73	1.31	1.77	0.002
14	80.22	7.39	10.34	2.44	2.12	0.054
15	65.45	6.89	6.74	3.14	1.48	0.030
16	73.38	12.26	15.18	2.18	1.39	0.018
17	60.63	7.36	8.99	1.40	1.38	0.020

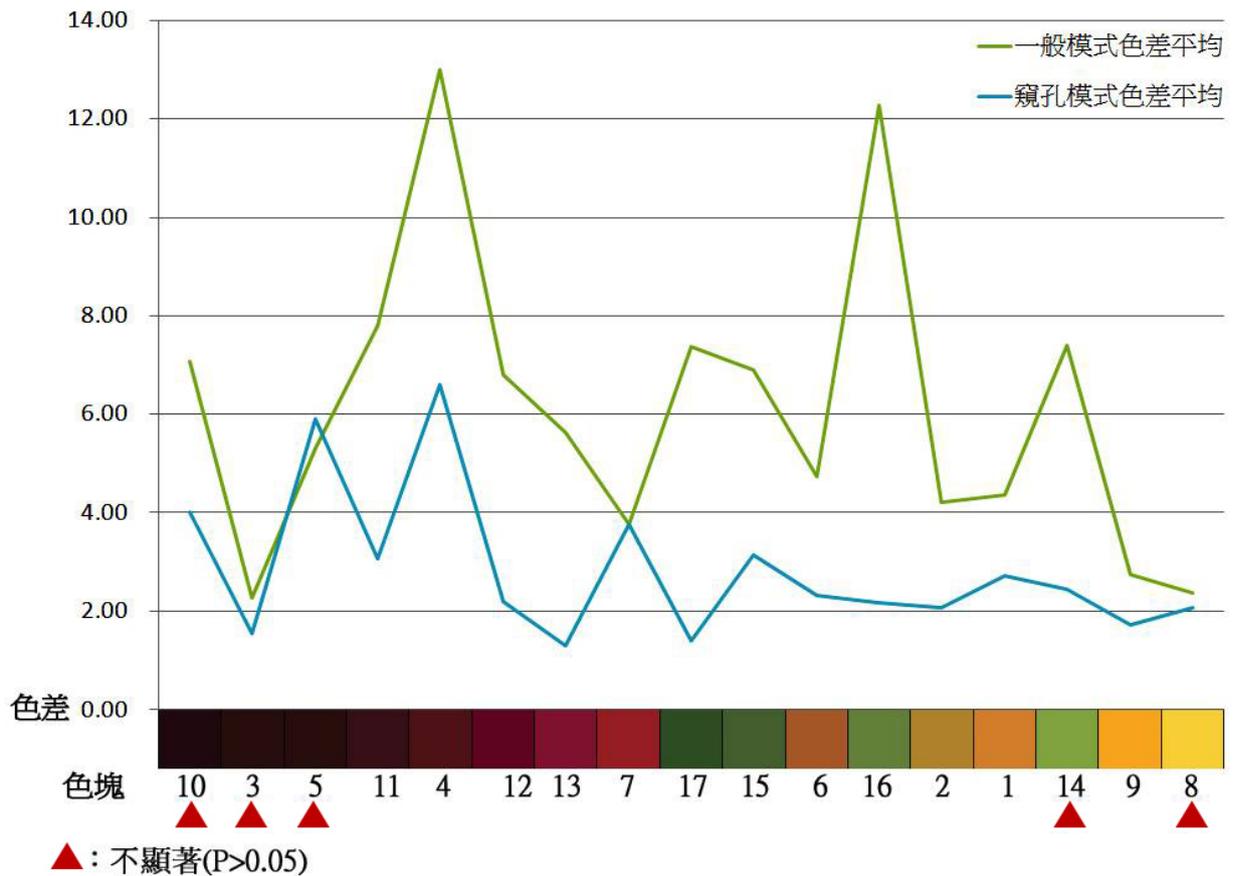


圖 4.1.1 為色塊依亮度由低至高排列繪製的折線圖，兩次實驗中效果不如預期的色塊，即色塊 10、3、5、14、8，全部分佈於亮度最低及最高的區段。

4.1.2 兩組實驗比較結果

將實驗情況 A 與情況 B 一般模式的色差平均進行 t 檢定，一般模式下，情況 A 色差平均為值 3.7，標準差為 3.5，情況 B 色差平均值為 6.5，標準差為 5.5，檢定結果情況 B 一般模式的色差顯著大情況 A ($P < 0.01$)。

將情況 A 與情況 B 窺孔模式的色差平均進行 t 檢定，窺孔模式下，情況 A 色差平均為值 2.6，標準差為 1.7，情況 B 色差平均值為 2.6，標準差為 2.6，檢定結果不顯著 ($P > 0.05$)。

兩組實驗互相比較的結果顯示，在窺孔模式下兩者的差異不顯著，顯示受測

者在消除脈絡效應的狀況下，面對不同色塊所表現的色彩感知能力較為穩定。而在一般模式中，情況 B 色差平均值顯著大於情況 A；情況 A、B 兩組實驗除了圖片之外的條件均相同，造成兩者差異的條件可能為刺激圖片的不同，另外，情況 B 的刺激圖片寫實程度高於情況 A 組。不同的脈絡環境之下人對於顏色判斷可能有不同程度的差別，詳細的原因值得後續研究探討。

4.2 實驗結果與應用

和本研究相關的應用如：

(1) 全腦教育的訓練方法

國內教育多注重語文及數學邏輯能力，有利於左腦思考模式的培養，但美術及音樂等等課程，往往不受重視，右腦思考模式的貢獻常常被忽略，然而在腦力競爭的時代，許多企業利用繪畫教育的方式來開發創造力，因為繪畫乃是轉換思考模式的良好媒介。本研究的實驗透過遮蔽環境脈絡的方法，有效減少左腦思考模式對於色彩判斷的偏見，使人的感知能力更加客觀。

喬斯坦·賈德在他著名的小說*蘇菲的世界*中將宇宙比喻為魔術師的小白兔，而人類則是寄居在兔子毛皮深處的小蟲；哲學家們總是試圖沿著兔子的細毛往上爬，以便將魔術師看個清楚。雖然我們常常對一些小問題產生疑問，但我們的習慣將問題合理化，而我們期待透過刺激右腦思考，解放被壓抑的好奇心和創造力，使人重新檢視發生在眼前的各種現象，並能夠“沿著兔子的細毛往上爬”。

(2) 繪畫教育中的色彩訓練

繪畫教育中，有許多訓練方法是藉由改變熟悉的視覺認知的方式以達到訓練的目的，例如將繪畫大師的畫倒置臨摹，或是訓練將眼前所見的物體簡化成球形、圓柱或立方體等等，都有助於學習掌握畫面的結構，同樣的，對於認識色彩及用色的教育過程，可以在既有的教學方法中增加一個透過窺孔觀察的訓練流程，透過此訓練，解除色彩恆常性；以幫助學生們更容易客觀的進行觀察及掌握使用的顏色，並且了解色彩恆常性影響我們感知之深遠。

貝蒂·愛得華博士，在她的著作*像藝術家一樣反轉思考*中所提出，“消除天賦是學習基本感知技巧的必要條件”，我們有許多與生俱來的天賦能力，幫助我們在多變的環境下生存，色彩恆常性只是其中一種；但期待我們能夠跳脫這些由“天賦”所建立的框架，為人類文化創造新的價值。

(3) 電腦繪圖的選色系統

現行的繪圖軟體已經相當容易操作，選色介面也簡單易懂，但操作時所選的色彩應用於畫面上時常常不如預期，以至於須要不斷重複修改選色才能達到預期的狀態，因為工作中畫面的色彩脈絡和選色色盤中的色彩脈絡不同所致。將窺孔功能加入繪圖軟體中或是在選色介面中，增加目前工作中畫面上的色彩脈絡等方法，或許可以使得選色的任務更加容易，節省操作上來回檢視顏色的時間。



4.3 後續研究與建議

(1)本研究所使用的圖片為常見水果的照片，若使用其他內容的照片，實驗結果可能不盡相同，人造物或天然物品，不同表面如金屬及塑膠表面、或是圖片的寫實程度等等，都可能是影響色彩感知的因素，值得深入探討。

(2)在不同的色彩刺激呈現模式下，人對於顏色的認知可能有很大的差別，本研究所定義的窺孔和 Ikeda 於 1993 年時所進行的窺孔實驗有所不同，而色彩的呈現模式仍有許多可能性，期待後續研究能建立更完備的理論。

(3)本研究因為時間及成本有限，實驗中受測者調色的色塊也有限，然而人類可以辨識的色彩超過千種，本研究也發現受測者對於不同色彩的感知差別相當明顯，某些顏色在進行調色時所產生的色差較大，可能是人類天生生理上的限制，對於可見光譜中的其他色彩仍有探討的空間，是本研究日後可以發展改善的項目之一。



第五章 附錄

5.1 轉換公式

RGB to XYZ

```
var_R = ( R / 255 )           //R from 0 to 255
var_G = ( G / 255 )           //G from 0 to 255
var_B = ( B / 255 )           //B from 0 to 255

if ( var_R > 0.04045 ) var_R = ( ( var_R + 0.055 ) / 1.055 ) ^ 2.4
else                          var_R = var_R / 12.92
if ( var_G > 0.04045 ) var_G = ( ( var_G + 0.055 ) / 1.055 ) ^ 2.4
else                          var_G = var_G / 12.92
if ( var_B > 0.04045 ) var_B = ( ( var_B + 0.055 ) / 1.055 ) ^ 2.4
else                          var_B = var_B / 12.92

var_R = var_R * 100
var_G = var_G * 100
var_B = var_B * 100

//Observer. = 2°, Illuminant = D65
X = var_R * 0.4124 + var_G * 0.3576 + var_B * 0.1805
Y = var_R * 0.2126 + var_G * 0.7152 + var_B * 0.0722
Z = var_R * 0.0193 + var_G * 0.1192 + var_B * 0.9505
```



XYZ to Lab

```
var_X = X / ref_X           //ref_X = 95.047   Observer= 2°, Illuminant= D65
var_Y = Y / ref_Y           //ref_Y = 100.000
var_Z = Z / ref_Z           //ref_Z = 108.883

if ( var_X > 0.008856 ) var_X = var_X ^ ( 1/3 )
else                      var_X = ( 7.787 * var_X ) + ( 16 / 116 )
if ( var_Y > 0.008856 ) var_Y = var_Y ^ ( 1/3 )
else                      var_Y = ( 7.787 * var_Y ) + ( 16 / 116 )
if ( var_Z > 0.008856 ) var_Z = var_Z ^ ( 1/3 )
else                      var_Z = ( 7.787 * var_Z ) + ( 16 / 116 )
CIE-L* = ( 116 * var_Y ) - 16
CIE-a* = 500 * ( var_X - var_Y )
```

CIE-b* = 200 * (var_Y - var_Z) (引自 <http://www.easyrgb.com/index.php?X=MATH,2008.6>)

5.2 色差計算公式 Delta E (CIE 2000)

$$\Delta E = \sqrt{\left(\frac{\Delta L'}{K_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C'}{K_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H'}{K_H S_H}\right)^2 + R_T \left(\frac{\Delta C'}{K_C S_C}\right) \left(\frac{\Delta H'}{K_H S_H}\right)}$$

$$\bar{L}' = (L_1 + L_2)/2$$

$$C_1 = \sqrt{a_1^2 + b_1^2}$$

$$C_2 = \sqrt{a_2^2 + b_2^2}$$

$$\bar{C} = (C_1 + C_2)/2$$

$$G = \left(1 - \sqrt{\frac{\bar{C}^7}{\bar{C}^7 + 25^7}}\right) / 2$$

$$a'_1 = a_1(1+G)$$

$$a'_2 = a_2(1+G)$$

$$C'_1 = \sqrt{a'^2_1 + b_1^2}$$

$$C'_2 = \sqrt{a'^2_2 + b_2^2}$$

$$\bar{C}' = (C'_1 + C'_2)/2$$

$$h'_1 = \begin{cases} \tan^{-1}(b_1/a'_1) & \tan^{-1}(b_1/a'_1) \geq 0 \\ \tan^{-1}(b_1/a'_1) + 360^\circ & \tan^{-1}(b_1/a'_1) < 0 \end{cases}$$

$$h'_2 = \begin{cases} \tan^{-1}(b_2/a'_2) & \tan^{-1}(b_2/a'_2) \geq 0 \\ \tan^{-1}(b_2/a'_2) + 360^\circ & \tan^{-1}(b_2/a'_2) < 0 \end{cases}$$

$$\bar{H}' = \begin{cases} (h'_1 + h'_2 + 360^\circ)/2 & |h'_1 - h'_2| > 180^\circ \\ (h'_1 + h'_2)/2 & |h'_1 - h'_2| \leq 180^\circ \end{cases}$$

$$T = 1 - 0.17 \cos(\bar{H}' - 30^\circ) + 0.24 \cos(2\bar{H}') + 0.32 \cos(3\bar{H}' + 6^\circ) - 0.20 \cos(4\bar{H}' - 63^\circ)$$

$$\Delta h' = \begin{cases} h'_2 - h'_1 & |h'_2 - h'_1| < 180^\circ \\ h'_2 - h'_1 + 360^\circ & |h'_2 - h'_1| > 180^\circ; h'_2 \leq h'_1 \\ h'_2 - h'_1 - 360^\circ & |h'_2 - h'_1| > 180^\circ; h'_2 > h'_1 \end{cases}$$

$$\Delta L' = L_2 - L_1$$

$$\Delta C' = C'_2 - C'_1$$

$$\Delta H' = 2\sqrt{C'_1 C'_2} \sin(\Delta h'/2)$$

$$S_L = 1 + \frac{0.015(\bar{L}' - 50)^2}{\sqrt{20 + (\bar{L}' - 50)^2}}$$

$$S_C = 1 + 0.045\bar{C}'$$

$$S_H = 1 + 0.015\bar{C}'T$$

$$\Delta\theta = 30 \exp\left\{-\left(\frac{\bar{H}' - 275^\circ}{25}\right)^2\right\}$$

$$R_C = \sqrt{\frac{\bar{C}'^7}{\bar{C}'^7 + 25^7}}$$

$$R_T = -2R_C \sin(2\Delta\theta)$$

$$K_L = 1 \quad \text{default}$$

$$K_C = 1 \quad \text{default}$$

$$K_H = 1 \quad \text{default}$$

(引自 http://www.brucelindbloom.com/index.html?Eqn_DeltaE_CIE94.html ,

2008.6)

參考文獻

中文部份：

李素卿 譯, 2003, 《認知心理學》, 台北: 五南. Michael W. Eysenck & Mark T. Keane, 2000, *Cognitive psychology : a student's handbook*.

何廣政, 1994, 歐美現代藝術, 台北市: 藝術家.

陸雅青, 1999, 藝術治療, 台北市: 心理出版社.

林書堯, 1991, 色彩認識論, 台北市: 三民書局.

陳一平、葉素玲, 2007, 〈感覺與感知〉, 陳烜之 主編, 《認知心理學》73-111, 台北: 五南

李江山、孫慶文、陳一平、陳建中、黃淑麗、葉素玲、鞏充文、櫻井正二郎, 1999, 視覺與認知: 視覺知覺與視覺運動系統。台北: 遠流。

陳智學、邱發中、林宜利、劉政宏、陳荻卿、林亦宏、陳淑蓉 譯, 2004, 《認知心理學》, Mark H. Ashcraft, *Cognition* 3rd ed.

張索娃 譯, 2004, 《像藝術家一樣思考》, 台北: 時報文化. Betty Edwards, *The New Drawing on the Right Side of the Brain*.

張索娃 譯, 2005, 《像藝術家一樣反轉思考》, 台北: 時報文化. Betty Edwards, *Drawing on Artist within: A Guide to Innovation, Imagination, and Creativity*.

李惠珍、連惠幸 譯, 1998, 《繪畫的故事》. 台北: 台灣麥克. Sister Wendy Beckett, *The Story of Painting*.

陳鴻興、陳君彥 編譯, 2003, 《基礎色彩再現工程》, 台北: 全華科技. 大田登, 1997, *Introduction to Color Reproduction Technology*.

王惟芬 譯, 2005, 《右手、左手: 探索不對稱的起源》, 台北: 商周出版. Chris McManus, 2004, *RIGHT HAND, LEFT HAND: The Origins of Asymmetry in Brains, Bodies, Atoms and Cultures*, Harvard Univ Pr

郭中荃, 2005, 比較歐洲繪畫的用色風格, 國立交通大學 應用藝術研究所.

英文部份：

Douma, M., curator. (2006). Simultaneous Contrast, Color Vision & Art from WebExhibits, Institute for Dynamic .

David H. Brainard, Wendy A. Brunt, and Jon M. Speigle, (1997), Color constancy in the nearly natural image. I. Asymmetric matches. Vol. 14, No. 9

Hiroyuki Shinoda; Keiji Uchikawa; Mitsuo Ikeda, Categorized Color Space on CRT in the Aperture and Surface Color Mode, (1993), COLOR research and application. Volume 18 Issue 5, P 326 - 333.

Jackson, R., MacDonald, L. and Freeman, K.. (1994). *Computer Generated Colour, England*: John Wiley and Sons Ltd.

Karl R. Gegenfurtner; Daniel C. Kiper , COLOR VISION , (2003), Annual Review of Neuroscience. Vol. 26: 181-206

Kraft JM, Brainard DH. (1999). Mechanisms of color constancy under nearly natural viewing. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 96(1):307 - 12.

Lawler, C. O. & Lawler E. E.,III. (1965)Color-mood associations in young children. Journal of Genetic Psychology, 107, 29-33.

Semir Zeki, (1999), Inner vision-An Exploration of Art and the Brain. **Oxford University Press, USA**

網頁部份：

CGFA - A Virtual Art Museum, Carol Gerten-Jackson

< <http://www.cab.u-szeged.hu>>, 2008

color difference calculator -

<<http://www.brucelindbloom.com/index.html?ColorDifferenceCalc.html>>, 2008

Educational Advancement, Washington, DC. Retrieved March 30, 2006, from

<http://www.webexhibits.org/colorart/contrast.html>.

EasyRGB color search engine - <<http://www.easyrgb.com>>, 2008