

臺灣二〇〇三年國際科學展覽會

科 別：動物學科

作品名稱：以數位像素分析法探討兩棲類變色行爲之研究

得獎獎項：動物學科第一名

柯達公司攝影獎

香港第卅六屆聯校科學展覽會

學 校：國立新竹女子高級中學

作 者：王潔

蕭軒梅

以數位像素分析法探討兩棲類變色行為之研究

英文摘要(Abstract)

The purpose of this study is to investigate the color variation behavior of tree frogs using an image processing technology. It is known that some of the amphibians have the ability to change their skin color under different circumstances. In the past, a conventional "color comparison" method was frequently used whenever it comes to analyzing the color variation of organisms. However, it is realized that evaluation of color difference by human eyes is extremely unreliable. An advanced image processing technology is thus suggested to quantify the variation of skin color of tree frogs under different conditions in this experiment.

Accurate quantification can be determined from the pixel number of exhibited digital images during the experiment. The color variation of different species of frogs (*Hyla chinensis* & *Rhacophorus taipeianus*) is also compared under different parameters. It is found that the color variation of tree frogs is closely related to the color of background as well as time. The proposed digital quantification technique has been successfully demonstrated to be an effective method for analyzing the color variation of frogs within a very short time.

中文摘要

此研究是以數位科技改良生物實驗上的傳統比色法，並探討中國樹蟾及台北樹蛙的變色行為。有些兩棲類有變色行為，這是眾所皆知的現象，過去一向採用比色法判斷生物體的體色變化；然而，以人眼去測定色差，會有相當大的主觀誤差。本研究即是探討以數位科技量化並比較實驗對象的變色情形。

在研究過程中，用電腦量化數位相機所拍攝的影像，以像素的方式呈現出來，得以取得準確且客觀的實驗數據，並加以解析，也經由此一實驗方法，交叉比較中國樹蟾及台北樹蛙在不同環境和不同時間下的變色情形。結果顯示：樹蛙變色與環境顏色及時間有密切關係，且在短時間內以數位量化的方式解析其變色行為的方法極為可行。

以數位像素分析法探討兩棲類變色行爲之研究

一、前言

(一) 研究動機：

兩棲類有變色行爲，這是眾所皆知的現象，由於中國樹蟾爲生活中常見的變色型兩棲類，於是嘗試研究其變色行爲。在利用半年的時間進行以傳統比色法探討中國樹蟾變色現象的實驗後，體驗到傳統比色法客觀性不足，興起改良此一舊有實驗法的念頭，以維持相關實驗的準確及客觀性，同時嘗試以改良後的實驗法探討中國樹蟾的變色現象，並以台北樹蛙作爲佐證。

(二) 研究目的：

- 1.以數位科技建立具準確性與客觀性的實驗操作法，以取代傳統的比色法。
- 2.以數位科技及電腦分析方式量化並解析中國樹蟾及台北樹蛙的變色。

二、研究方法與過程

(一) 研究材料：

中國樹蟾及台北樹蛙

白熾燈	3 盞	數位相機	2 部
塑膠盒	14 個	翻拍機	1 台
日光燈	1 盞	碼錶	1 支
光度計	1 具	溫度計	2 只(一大一小)
矽膠手套	1 盒	溼度計	1 只
白色宣紙	14 張	各色西卡紙	7 色
暗室	1 間	觀察室	1 間
飼養箱	2 個	足量麵包蟲及果蠅	



實驗後的塑膠盒



測量實驗溫度的溫度計




兩隻顏色相差極大的台北樹蛙

(二) 研究過程：

1. 以數位科技建立具準確性與客觀性的實驗法，以取代傳統的比色法。



① 實驗改良過程

a. 暗室	<p>1. 由於黑色會吸收所有的光，所以將暗室四周貼上黑色壁報紙，暗室門口以黑色布幕遮住，以確保實驗中無外界光源干擾。</p> <p>2. 發現暗室中空氣不流通，長期照光下溫度會稍稍上升，於是我們利用光的直線前進特質，在暗室的頂部開了一個可以通風但仍不透光的開口。</p>	
b. 實驗光源	<p>1. 利用日光燈，裝於暗室頂部的中間，但經過我們的分析，發現日光燈所射出的光含有 630nm 之光較多，所以不適合作為實驗的光源。</p> <p>2. 在請教物理老師後，決定用白熾燈為實驗光源，因白熾燈是物理上用來分析顏色，不會影響反應出來的色彩之工具。</p>	
c. 蛙體色的觀察記錄	<p>1. 一開始利用光柵分析蛙體色，但有主觀上判定的差異，且無法量化。</p> <p>2. 改用光譜儀 (spectrometer) 來觀察中國樹蟾對環境顏色的反應，並利用碼表按時記錄其體色的波長變化。但由於中國樹蟾所反射的光太弱，光譜儀無法感應出青蛙和四周環境的不同。</p> <p>3. 改用已調為完全不修飾照片的數位相機為照相工具，因為數位相機拍攝得的圖片，可直接運用電腦分析得到結果，較為客觀。</p> <p>4. 發現剛啟動相機時所拍的照片，有些會因相機未事先暖機，感光度不足，使相片的亮度有明顯的差異。故在進行實驗前 5 分鐘將相機開啓，以達到亮度的平衡。</p>	
d. 照相光源	<p>由於若使用閃光燈會影響顏色的判定，所以捨棄相機的閃光燈，且為防止單邊打光有陰影，改利用另兩盞白熾燈，將之固定為相對的角度及相同距離，並包上紗布防止光源過強。</p>	

e. 拍照及實驗方式	<ol style="list-style-type: none"> 1.由於若不固定中國樹蟾於實驗中的活動範圍，則無法控制光度、光源距離及角度，且入射角和拍照角度亦無法固定，所以將青蛙的活動範圍縮小成一個透明塑膠盒。 2.使用翻拍機，將照相機固定在 15 公分的高度且和版面水平的角度，固定照相光源。 3.於暗室內設置一包有黑紙的實驗桌，將實驗光源放置其上並固定角度及實驗光度。 4.為保持青蛙不致於在盒中窒息，使用與所給環境相同之顏色的小紙片，夾在塑膠盒開口處，以利空氣流通。 	
f. 影像處理	<ol style="list-style-type: none"> 1. 嘗試以傳統影像程式的格式資料（檔頭）進行解析，但多方找找尋後，無法取得理想的檔頭。 2.使用 Photo Impact 預覽實驗所得圖片，嘗試以隨機點選並統計的方式，但由於發現仍不脫主觀認定。 3.將生物理念與科技結合，在與電腦老師協助下，使用 Visual Basic 原理撰寫符合需求的程式。 	

②實驗操作設計

※以下實驗步驟均於暗室中進行，凡與中國樹蟾及台北樹蛙接觸時均須著手套。

<p>a.</p> 	<p>將實驗對象自飼養箱中取出並略為清洗，置入盒中，於盒中及實驗對象身上噴適量水份，以保持盒內 100%的溼度。分別以微透光的白色宣紙包裹透明塑膠盒，以便統一其初色，靜至 60 分鐘後拍照。</p>
<p>b.</p> 	<p>拍照前 5 分鐘，將實驗光源（包有紗布）、照相光源（不包紗布）及數位相機開啓。</p>

<p>c.</p> 	<p>為實驗前的實驗對象拍照，並控制拍照時間於 20 秒內，以防時間過久導致實驗對象顏色劇烈改變。</p>
<p>d.</p> 	<p>拍照完畢後，立即將塑膠盒套入色紙盒中（白、棕、紅、黃、黑、綠、藍）。</p>
<p>e.</p> 	<p>依序將七個盒子放上實驗桌上實驗光源行進的方向，光度控制為 600 lux，使光源能由七個盒子之側透入。</p>

- f.以碼表計時，等待設定的實驗時間。
g.同步驟②-c. 為實驗後的實驗對象拍照。
h.實驗完畢後，將實驗對象放回飼養箱中休息。

③數位科技像素分析法之研發

- a.將拍下之初色相片及實驗後相片，以影像處理軟體 Photo Impact，切割去不必要之背景，及照相時身上的反光部分，以得到純粹之青蛙體色（即除去眼帶及腹部之剩餘部位），並以四種不同蛙體部位（全身、頭部、背部及腳部）分析之。
b.用電腦程式去分析，歸納出照片的灰階平均值及像素藍、綠、紅數值。
(a) 電腦先讀取影像檔案的檔頭資料，如：影像格式，影像的長、寬，影像由多少點組成……
(b) 以字元二維陣列讀取檔頭資料後的影像資料。
(c) 分析影像中每一個點，並一藍、綠、紅像素之值做分類統計。
(d) 算影像藍、綠、紅像素值的標準差，根據標準差截去離平均值前後各一個

標準差的點。

- (e) 計算影像灰階平均值和影像中像素藍、像素綠、像素紅的平均值。
- (f) 以記事本形式表現讀取所得之資料。
- c. 利用 Excel 程式，將影像分析所得的像素藍、像素綠、像素紅數值，分別減去其灰階平均值，平移實驗結果（以除去照相時相機、光源強度、背景間的微小不同），使比較時基礎相同。
- d. 再利用 Excel 程式，將實驗中後得到的影像數據（中國樹蟾及台北樹蛙已變色的相片），減去同一實驗中先前得到的影像數據（中國樹蟾及台北樹蛙未變色前的相片），得到實驗各像素值的差值。
- e. 將相同條件下的多次實驗結果加以平均。
- f. 以 e. 之像素差值用 Excel 作出各種圖表。
- g. 數值分析之原理：
 - (a) 由於任何顏色均是由紅綠藍三個像素值所構成（於電腦和光色彩學均如此），而三個素值均介於 0~255。當三像素的數值皆為 0 時，顏色為黑色，而當三像素的數值皆為 255 時，顏色為白色。
 - (b) 由於將實驗前與實驗後照片的像素紅、綠、藍數值，全部減去照片的灰階平均值，再以實驗後的數值減去實驗前的數值，即為本實驗之數據；由此可知，像素差值若是正值，即表示蛙體色變愈淡；反之，像素差值若是負值，即表示蛙體色變愈深。

2. 以數位科技及電腦分析方式量化並解析中國樹蟾及台北樹蛙的變色。

※依照上述「實驗操作設計」進行以下實驗，並且對於每一個處理均進行五次，以確保實驗之準確性。

實驗一 有色環境及停留時間與中國樹蟾及台北樹蛙變色的關係

- ① 依照上述「實驗操作設計」分別比較不同顏色環境下中國樹蟾及台北樹蛙的變色情形，將實驗時間控制為 15 分鐘。
- ② 同①，但將實驗時間控制為 30 分鐘。
- ③ 同①，但將實驗時間控制為 60 分鐘。
- ④ 同①，但將實驗時間控制為 90 分鐘。
- ⑤ 根據上述①至④實驗結果，進行交叉比對「時間與環境對中國樹蟾及台北樹蛙的影響」。
- ◎ 額外進行一組黑暗中的實驗以做為對照組

實驗二 環境溫度對中國樹蟾及台北樹蛙變色情形的影響

◎ 在進行完實驗一之後，我們決定進行和溫度有關的推展實驗，於是我們在淺色系環境中和深色系環境中各擇一進行實驗。於淺色系(白、黃)環境中，我們選擇變化較明顯的白色環境；於深色系(棕、紅、黑、綠、藍)環境中，我們選擇變化較明顯的棕色環境。

◎降低溫度的方法：於進行「實驗操作設計」步驟 e.時於每個透明塑膠盒上均置上一個內裝 55g 的冰的塑膠盒，以改變其溫度至 15°C。(另加置一塑膠盒，內不放入中國樹蟾或台北樹蛙，而置入一支小的溫度計，用來測量實驗進行時的溫度)

時間控制為 60 分鐘，即進行兩個實驗如下：

- ①於白色環境下，為中國樹蟾及台北樹蛙進行照光 60 分鐘，迅行拍照等紀錄
- ②於棕色環境下，為中國樹蟾及台北樹蛙進行照光 60 分鐘，迅行拍照等紀錄

實驗三 環境溼度對中國樹蟾及台北樹蛙變色情形的影響

◎在進行完實驗二之後，我們決定進行和濕度有關的推展實驗，於是我們在淺色系環境中和深色系環境中各擇一進行實驗。於淺色系(白、黃)環境中，我們選擇變化較明顯的白色環境；於深色系(棕、紅、黑、綠、藍)環境中，我們選擇變化較明顯的棕色環境。

◎降低濕度的方法：於進行「實驗操作設計」中步驟 3.時在照初色之前，在 20 秒內將塑膠盒中多餘的水擦乾使其保持乾燥，使實驗環境濕度低至約 60%。

- ①於白色環境下，為中國樹蟾及台北樹蛙進行照光 60 分鐘
- ②於棕色環境下，為中國樹蟾及台北樹蛙進行照光 60 分鐘

三、 研究結果與討論

(一) 實驗操作設計之可行性

以下比較傳統比色法與數位像素分析法之優劣：

方法	本實驗操作設計	傳統比色法及其操作環境
大環境溫度	利用固定的半密閉暗室，可排除大環境溫度的影響	無固定之空間，溫度隨天氣變化
大環境光度	利用固定的半密閉暗室，可排除大環境光度的影響	無固定之空間，光度隨天氣變化
大環境溼度	利用固定的半密閉暗室，可排除大環境溼度的影響	無固定之空間，溼度隨天氣變化
實驗時溫度	可利用冷源及熱源控制	無法控制
實驗時光度	可利用實驗光源控制	無法控制
實驗時濕度	可利用水份給予量控制	無法控制
實驗光源	利用白熾燈光源(比色用最客觀之光源)	有各色光源，波長不一且入色角不同，無法對等比較
比色時光源	利用固定的白熾燈光源，以統一比較基礎	無法固定光源，比較基礎不同

色彩判斷	利用數位相機結合電腦，以數據的型式比較量化顏色變化，具客觀性，可分辨細微的差異且可量化結果	利用人眼配合色盤、光柵、光譜儀等材料比較判斷，無客觀性、無法分辨細微差異且無法量化
比色所需時間	能於極短時間內取得大量瞬時體色狀況之相片	所需時間較長，無法精確掌控實驗觀察之時間
比色範圍	可經由選取不同的部位互相比較，以了解各部位之交互作用	無法縮小比較範圍，只能得到統整性結果
資料處理	可保留影像資料做進一步的研究探討	實驗過後僅剩下一份文字紀錄結果

由此比較，可見本研究所研發及使用的電腦程式較傳統比色法佔優勢，以科學實驗追求準確的角度而言，相當可行。

(二) 數位影像分析程式之可行性

生物學在過去從未有機會與數位科技這個新興的技術相結合，而現在，若以數位科技進行生物實驗的數據解析，以電腦處理取代以往紙上繁複的數據分析，加速龐大數據之整合處理，能更精確、更迅速的處理數據。本研究的數位影像程式即提供了精確且迅速的處理，無論在分析或統整實驗數據上都為實驗者節省相當可觀的時間，故對於本實驗的目的而言，相當適用。

(三) 實驗結果及討論

1. 討論方法

(1) 光色彩學：以紅、綠、藍三種光為光的三原色，三色中任兩色的混合可產生可見光譜中除去此三色之剩餘色彩，當此三原色光以一比一混合時，可產生白光，可見下圖；若按三色的比例不同調整，可調出所有的可見光。



光三原色

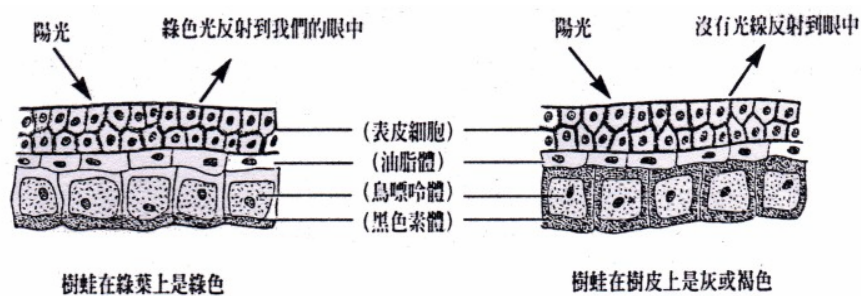
(2)變色生理：據我們查得的資料得知，青蛙的變色主要為色素胞控制，如下：

控色細胞	油脂體 (lipophores)	黑色素體 (melanophores)	鳥嘌呤細胞 (guanine)
內含顆粒	紅、橙、黃色素胞	黑色素胞	折光顆粒

由此我們推測青蛙體色中，此三種細胞的功用：

- a. 油脂體：控制青蛙體色的各種波長變化。
- b. 黑色素體：控制青蛙體色的明暗變化。
- c. 鳥嘌呤細胞：反射藍光為主。

當青蛙接受到外界環境的刺激，會產生激素使油脂體內紅、橙、黃色素胞集中或分散，並使黑色素體內黑色素胞在細胞中的分散情形改變，再透過鳥嘌呤細胞的折射，呈現出青蛙的顏色。

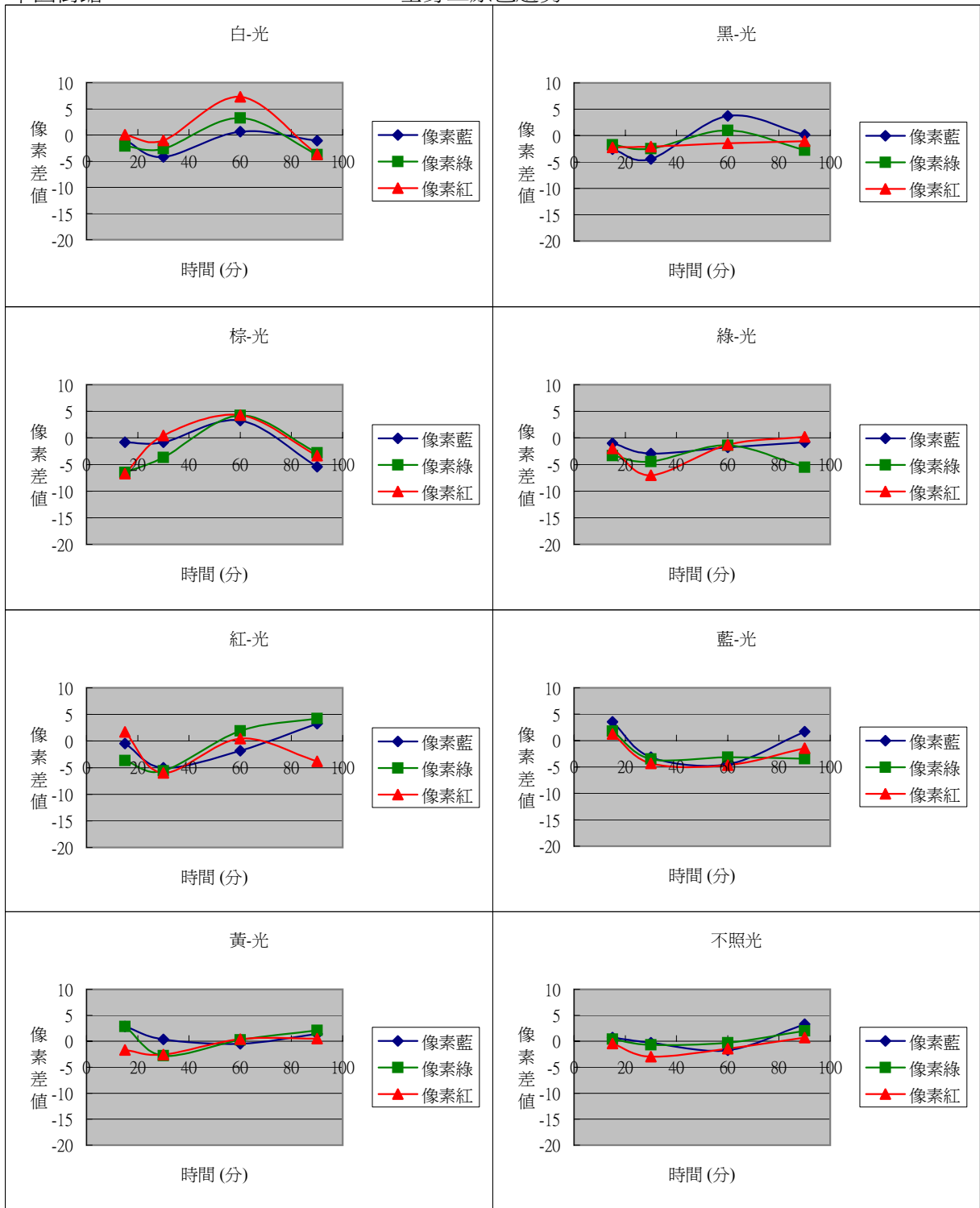


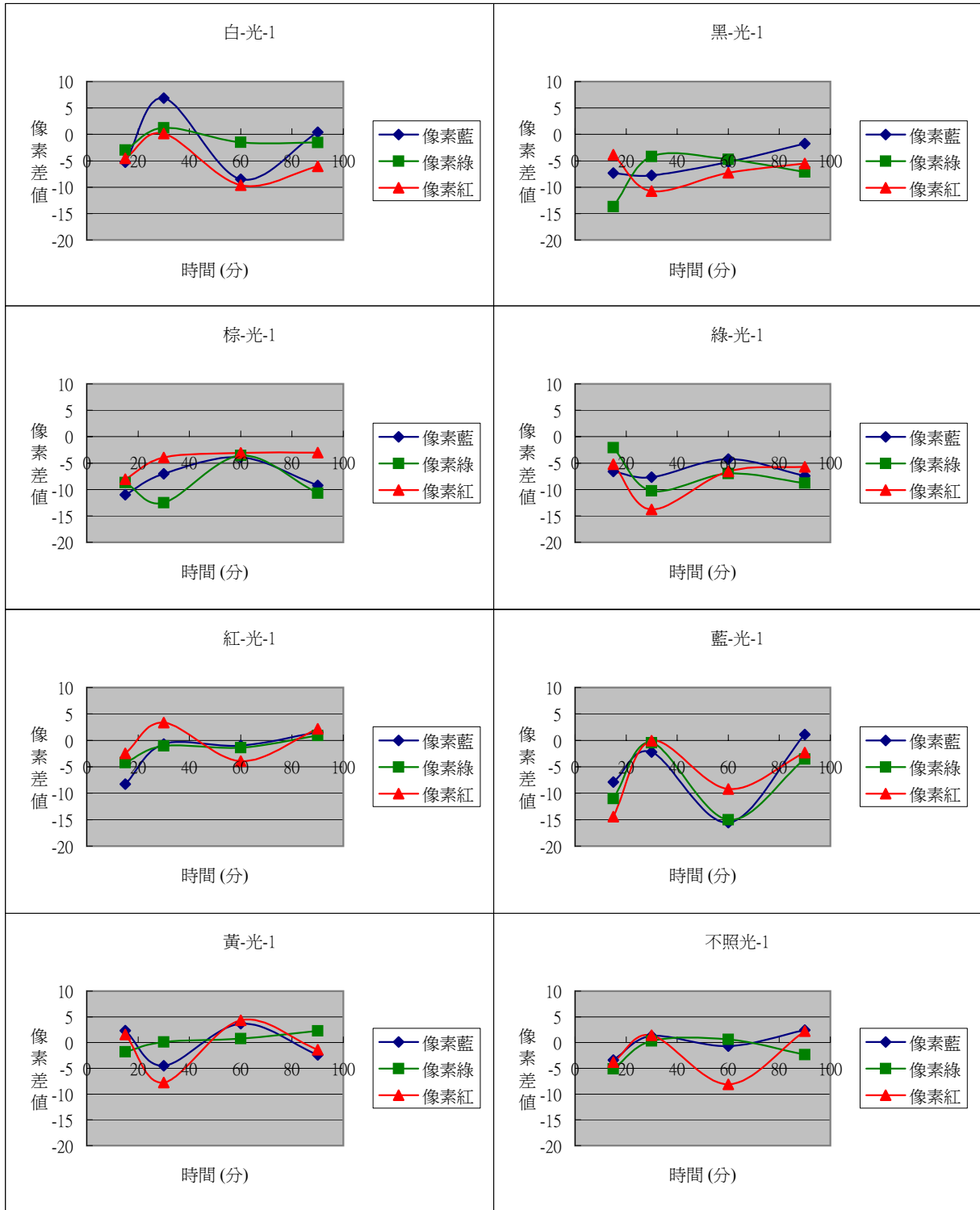
樹蛙皮膚的橫斷面顯示陽光如何與色素細胞相互作用，當蛙在綠葉上時呈綠色(左)，蛙在樹皮上時則呈暗色(右)。

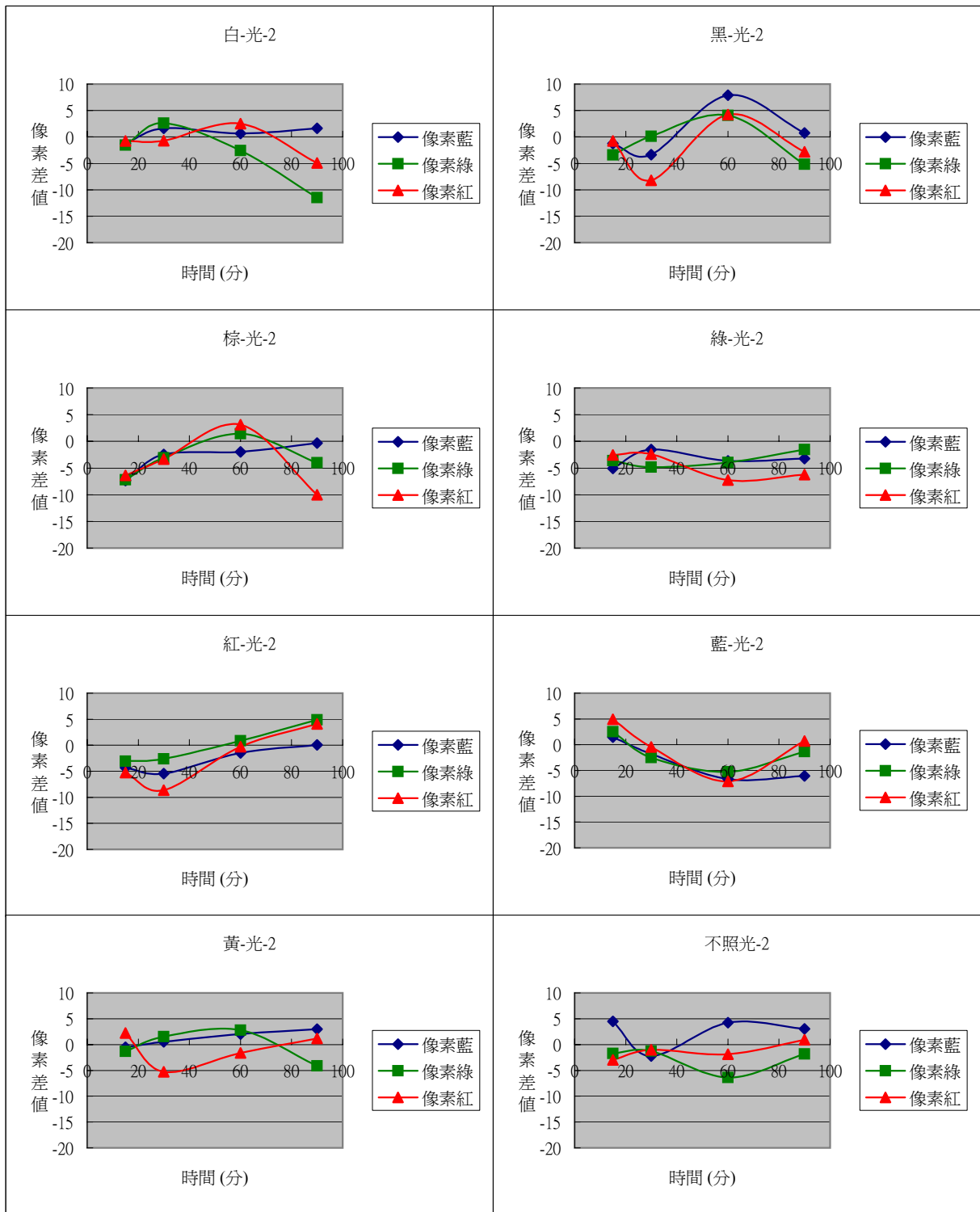
色素胞示意圖

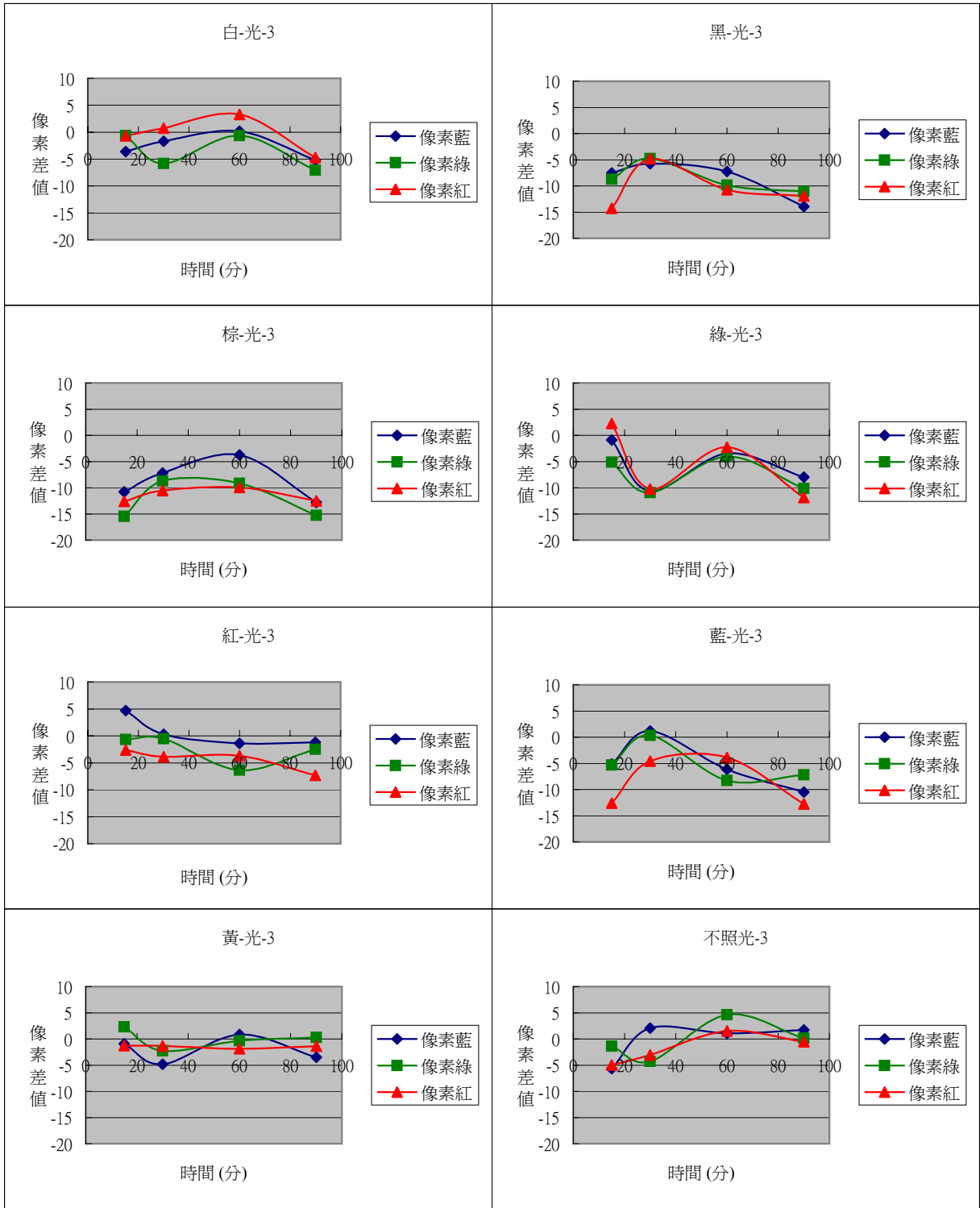
2.實驗結果

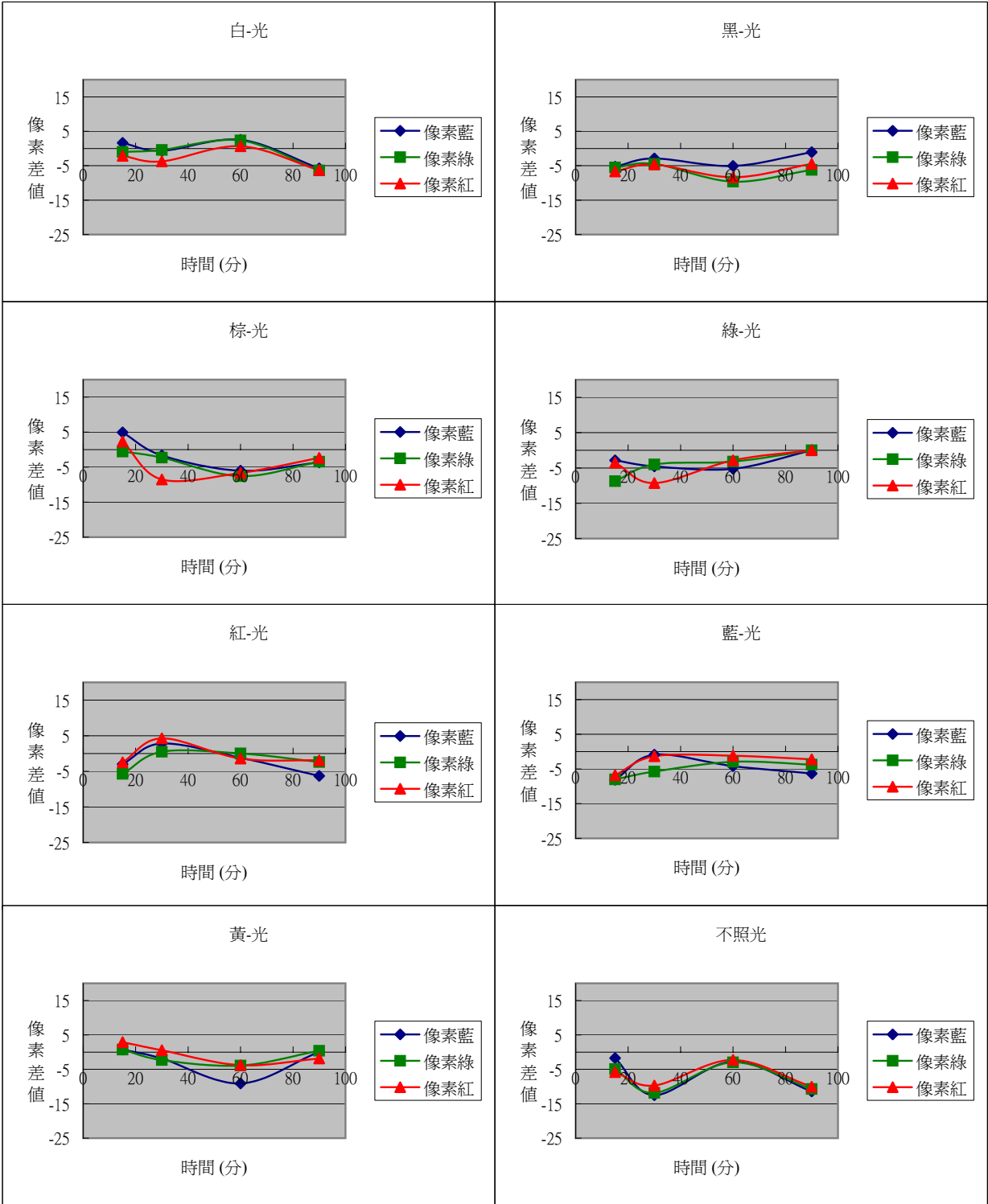
實驗一 有色環境及停留時間與中國樹蟾及台北樹蛙變色的關係
中國樹蟾 全身三原色趨勢

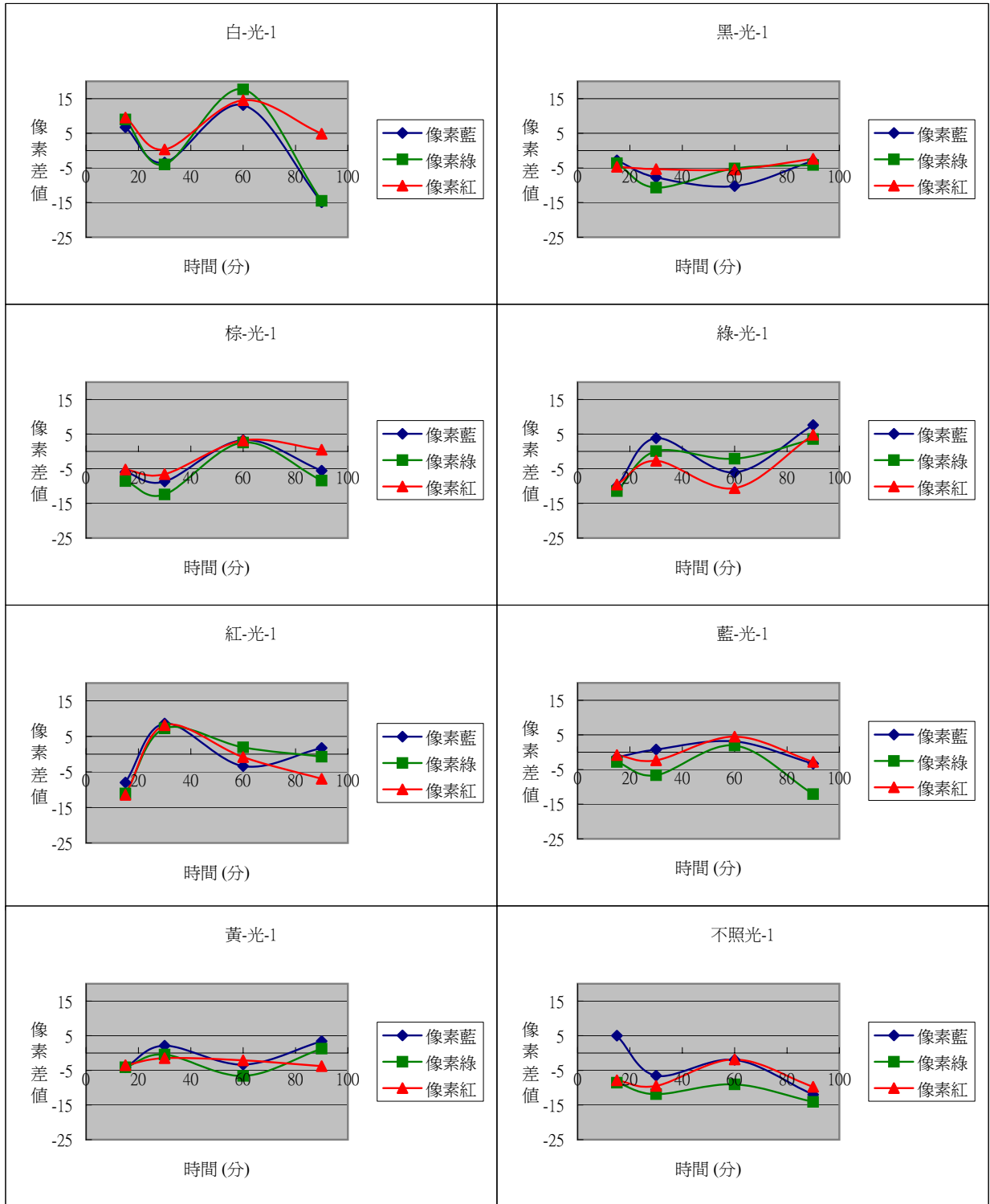


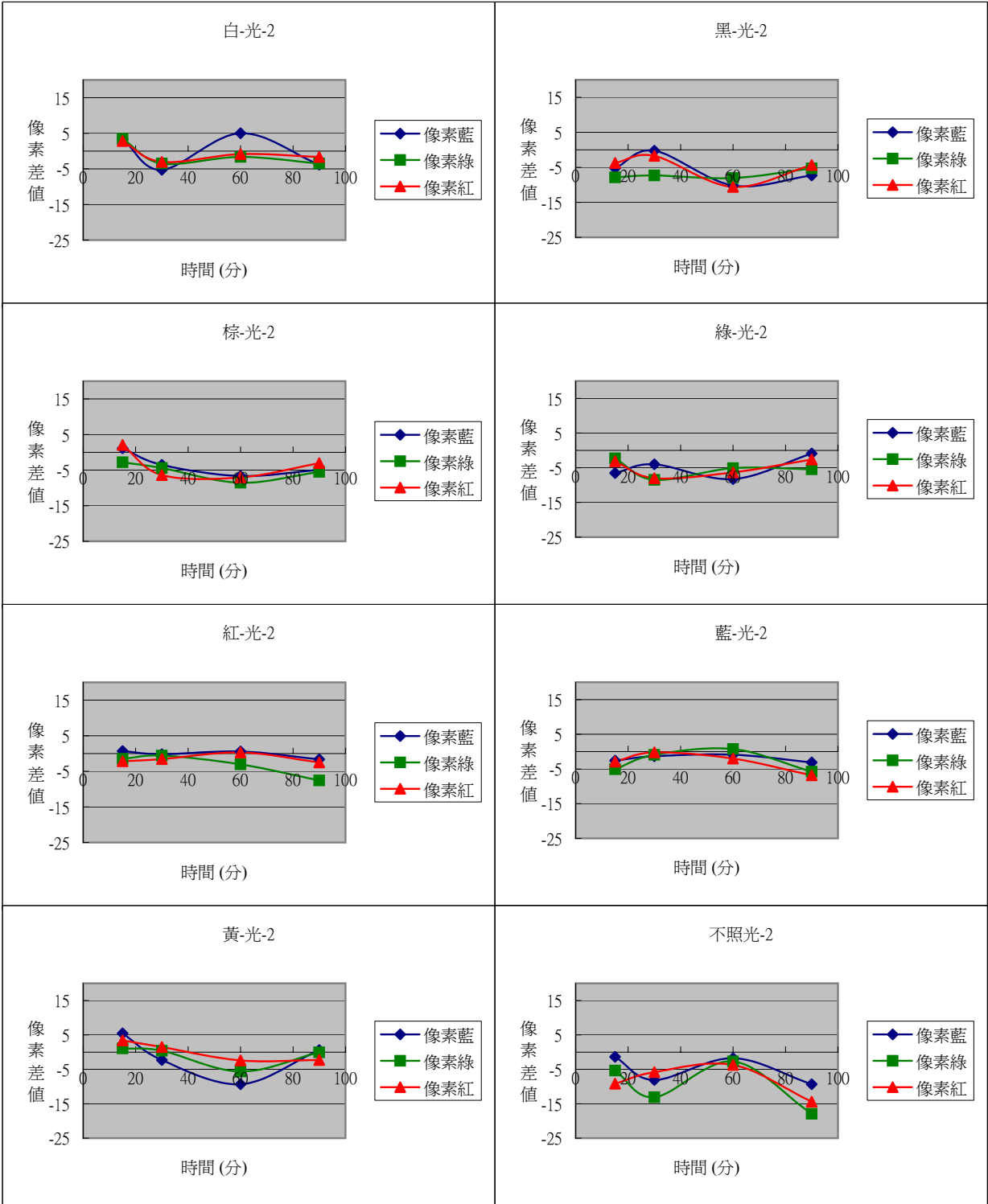


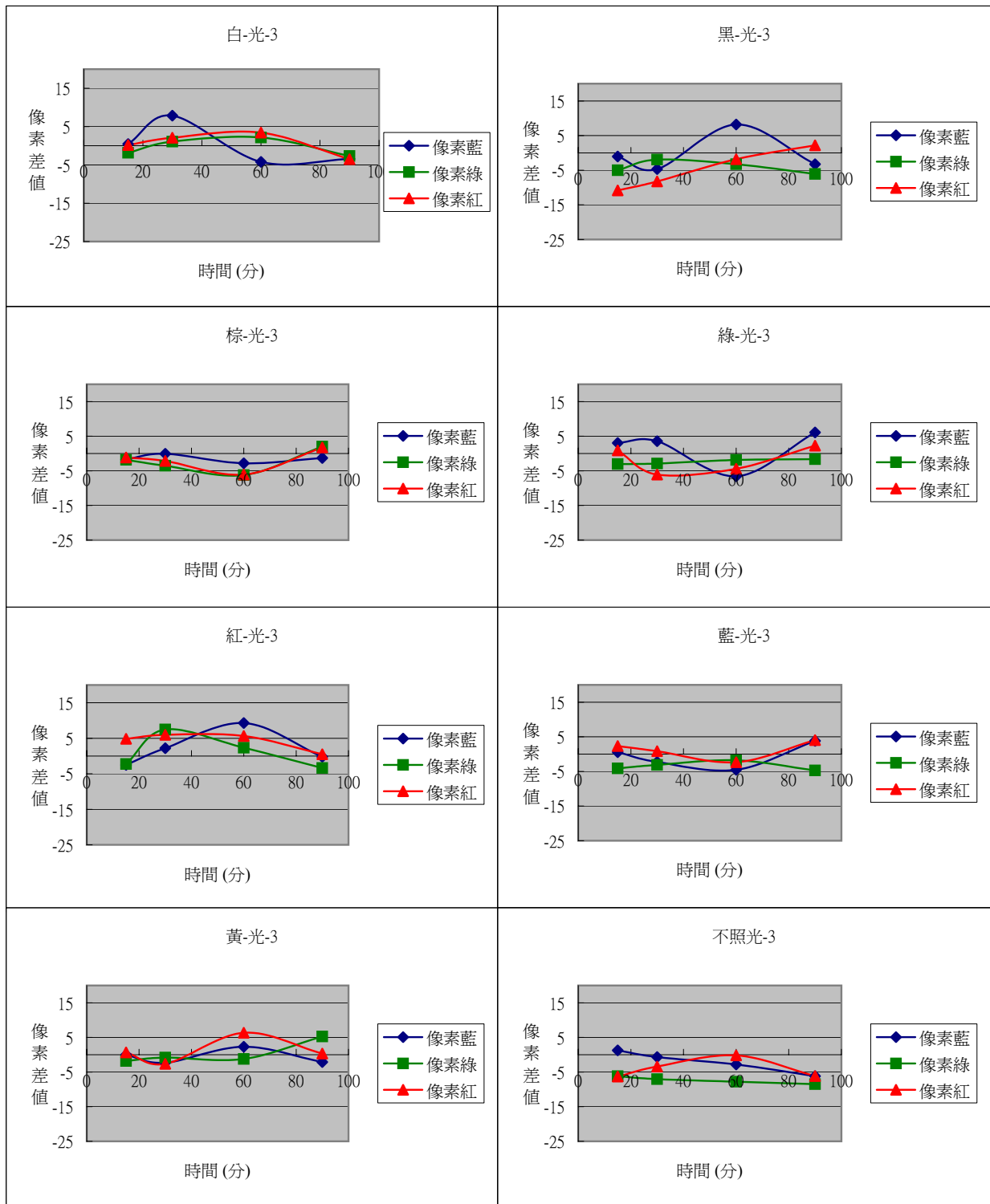












實驗二 環境溫度對青蛙變色情形的影響

1. 中國樹蟾

爲了比較青蛙在常溫與低溫環境下變色的差異，將於低溫下做實驗所得的數據與爲了比較青蛙在常溫與低溫環境下變色的差異，將於低溫下做實驗所得的數據與實驗四60分鐘、白色與棕色的數據相減，得到以下結果（其中”↑”表示於低溫環境中較於常溫環境中變色淡，”↓”表示於低溫環境中較於常溫環境中變色深）：

↑較實驗四淡				
↓較實驗四深				
白				
	全身	頭	身體	腳
藍	↓	↑	↓	↓
綠	↓	↓	↑	↓
紅	↓	↑	↓	↓

棕				
	全身	頭	身體	腳
藍	↓	↓	↑	↓
綠	↓	↓	↑	↑
紅	↓	↓	↓	↑

2. 台北樹蛙

↑較實驗四淡				
↓較實驗四深				
白				
	全身	頭	身體	腳
藍	↓	↓	↓	↑
綠	↓	↓	↓	↓
紅	↓	↓	↓	↓

棕				
	全身	頭	身體	腳
藍	↓	↓	↑	↓
綠	↓	↓	↑	↓
紅	↓	↓	↓	↓

實驗三 環境溼度對青蛙變色情形的影響

1. 中國樹蟾

爲了比較青蛙在濕潤與乾燥環境下變色的差異，將於乾燥環境下做實驗所得的數據與實驗四60分鐘、白色與棕色的數據相減，得到以下結果（其中”↑”表示於乾燥環境中較於濕潤環境中變色淡，”↓”表示於乾燥環境中較於濕潤環境中變色深）：

↑較實驗四淡					
↓較實驗四深					
白					
	全身	頭	身體	腳	
藍	↑	↓	↓	↑	
綠	↓	↓	↑	↓	
紅	↓	↓	↑	↓	

白				
	全身	頭	身體	腳
藍	↑	↓	↑	↑
綠	↑	↓	↑	↑
紅	↑	↓	↑	↑

2. 台北樹蛙

↑較實驗四淡				
↓較實驗四深				
白				
	全身	頭	身體	腳
藍	↓	↑	↓	↓
綠	↓	↑	↓	↓
紅	↓	↑	↓	↓

棕				
	全身	頭	身體	腳
藍	↑	↑	↑	↑
綠	↓	↑	↓	↓
紅	↓	↑	↓	↑

3.實驗討論

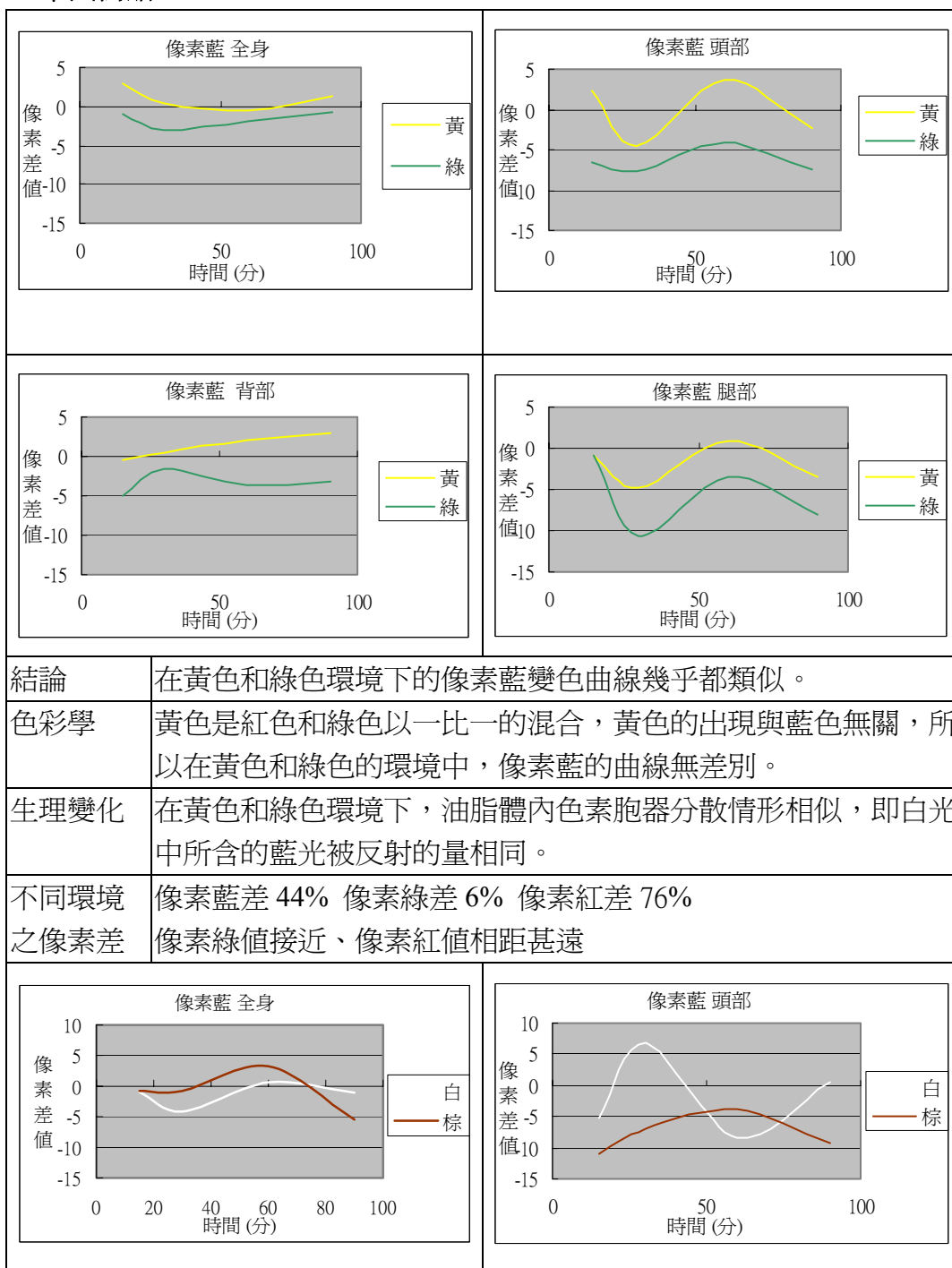
我們用實驗操作設計中之設備拍攝西卡紙盒之顏色，所得像數值如下：

	白色	棕色	紅色	黃色	黑色	綠色	藍色
像素藍	251	96	93	25	63	137	255
像素綠	251	137	65	210	52	226	210
像素紅	251	255	255	255	77	61	12

利用以上數據計算出以下表格中「環境」的像素差值，以便比較推論。

實驗一 有色環境及停留時間與中國樹蟾及台北樹蛙變色的關係

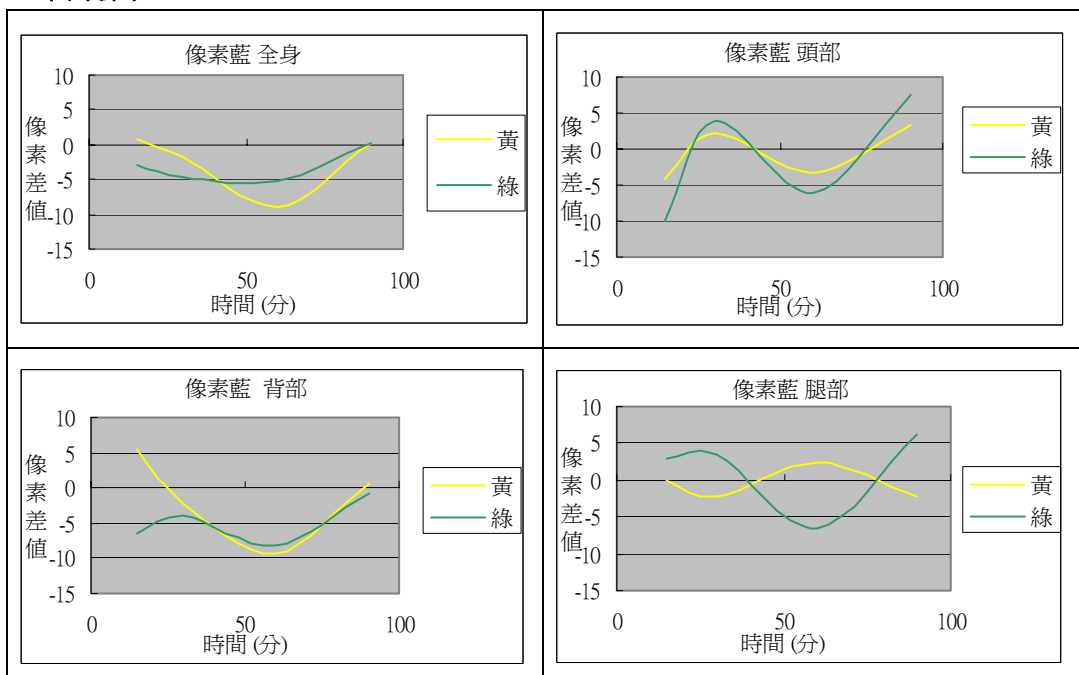
①中國樹蟾



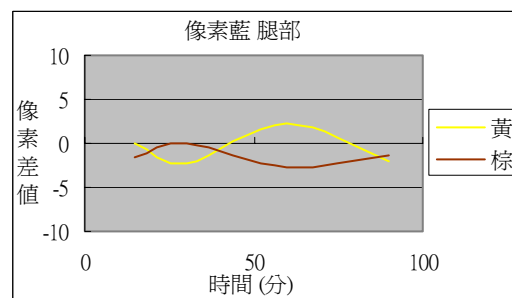
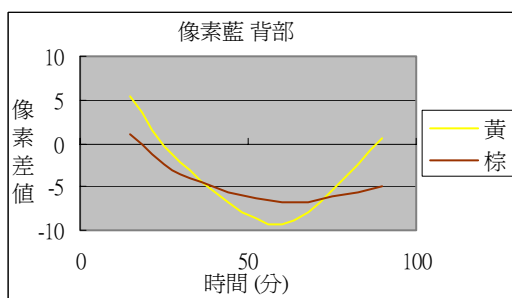
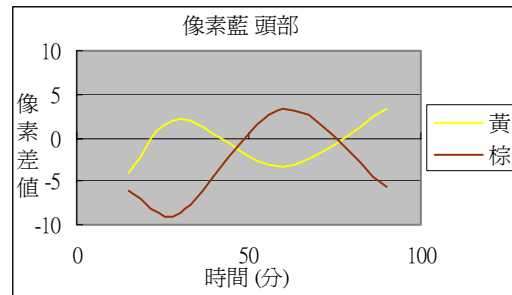
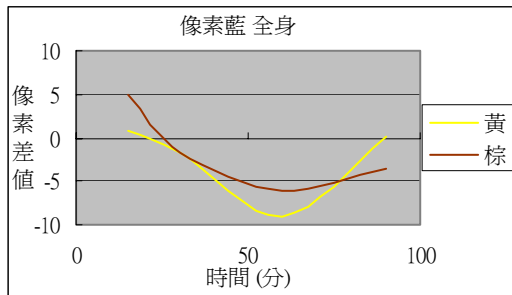
結論	在白色和棕色環境下其像素藍的曲線也幾乎都相像，唯頭部例外。
色彩學	因為從光色彩學上看，棕色是紅色和綠色的混合（紅遠多於綠），所以藍亦不變。
生理變化	在白色和棕色環境下，油脂體內色素胞器分散情形相似，即白光中所含的藍光被反射的量相同。
不同環境之像素差	像素藍差 61% 像素綠差 45% 像素紅差 2% 像素紅值接近
結論	在棕色和藍色環境下的像素綠變色曲線幾乎成相反的趨勢，除腿部以外。
色彩學	因為從光色彩學上看，棕色是紅色和綠色的混合（紅遠多於綠），而藍色一點也不包含綠，所以會有兩極化的反應。
生理變化	棕色環境下，黑色素體內黑色素胞會移動，且會擋住藍色光的出入細胞之路徑，因此二者為相反的趨勢。
不同環境之像素差	像素藍差 62% 像素綠差 29% 像素紅差 95% 像素紅值相距甚遠

結論	在紅色和黃色環境下，身體與腿部變色趨勢亦一致。
色彩學	從光色彩學上看，黃色是紅色和綠色以一比一的混合，是以黃色的紅色成分與紅色幾乎相同，僅在成分多寡上有差，所以其像素紅變化趨勢會相同。
生理變化	在紅色和黃色環境下，油脂體內色素胞器分散情形相似，且油脂體內紅、橙、黃色素胞分散情形相同。
不同環境之像素差	像素藍差 27% 像素綠差 57% 像素紅差 0% 像素紅值接近

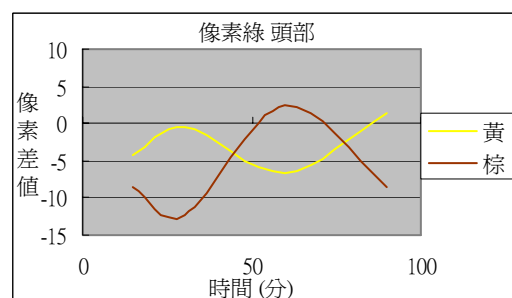
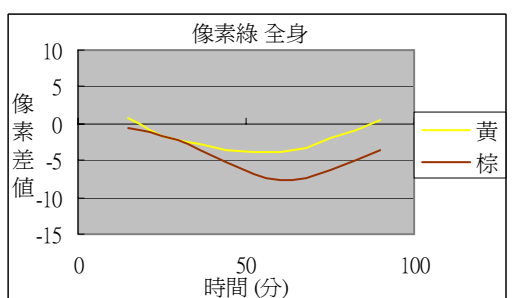
②台北樹蛙



結論	在黃色和綠色環境下的像素藍變色曲線幾乎都類似，唯腿部例外。
色彩學	因為從光色彩學上看，黃色是紅色和綠色以一比一的混合，黃色的出現與藍色無關，所以在黃色和綠色的環境中，像素藍的曲線無差別。
生理變化	在黃色和綠色環境下，油脂體內色素胞器分散情形相似，即白光中所含的藍光被反射的量相同。
不同環境之像素差	像素藍差 44% 像素綠差 6% 像素紅差 76% 像素綠值接近、像素紅值相距甚遠



結論	在黃色和棕色環境下其像素藍的曲線也幾乎都相像，唯頭部例外。
色彩學	因為從光色彩學上看，黃色是紅色和綠色以一比一的混合，而棕色是紅色和綠色的混合（紅多於綠），所以與藍較無關係。
生理變化	在黃色和棕色環境下，油脂體內色素胞器分散情形相似，即白光中所含的藍光被反射的量相同。
不同環境之像素差	像素藍差 28% 像素綠差 29% 像素紅差 0% 像素紅值接近



結論	在黃色和棕色環境下其像素綠的曲線也幾乎都相像，唯頭部例外。
色彩學	因為從光色彩學上看，黃色是紅色和綠色以一比一的混合，而棕色是紅色和綠色的混合（紅多於綠），兩者皆含紅色和綠色，僅於比例上有差，所以趨勢相近。
生理變化	在黃色和棕色環境下，油脂體內色素胞器分散情形相似，即由細胞內反射至油脂體內的藍光被以綠色呈現的量相同。
不同環境之像素差	像素藍差 28% 像素綠差 29% 像素紅差 0% 像素紅值接近
結論	在紅色和綠色的環境中的像素紅都有相反的趨勢，唯頭部例外。
色彩學	因為從光色彩學上看，綠色和紅色屬完全對比色，所以其像素紅變化趨勢會相反。
生理變化	油脂體內紅色色素胞於紅色環境及綠色環境下分布量相反。
不同環境之像素差	像素藍差 17% 像素綠差 63% 像素紅差 76% 像素紅值相距甚遠

實驗二 環境溫度對中國樹蟾及台北樹蛙變色情形的影響

由此實驗之結果可推測：太低溫的環境對中國樹蟾和台北樹蛙的變色均有負

面的影響，色素胞無法做出正常反應，使之無法於淺色環境變淺色，反而如在深色環境一般，都變深。

實驗三 環境溼度對中國樹蟾及台北樹蛙變色情形的影響

由此實驗之結果可推測：乾燥的環境對中國樹蟾和台北樹蛙均有負面的影響，使之無法於淺色環境變淺色，反而變深；應於深色環境變深色，反而變淺：正好相反。

四、 結論與應用

(一) 研究結論

1. 對實驗操作設計的肯定

無論是對於各種外在或內在變因的掌控，經過多方討論比較後，確立本實驗操作之客觀性、準確性、迅速性及實驗操作設計之可行性。

2. 對數位影像分析程式的肯定

近十年來數位科技蓬勃發展，電腦及數位相機成爲人們生活的必備條件。同時由於本數位應用程式不同於一般市面上所受之套裝軟體，可以用程式設計的方法，隨時依照不同實驗所設目的進行程式中數據讀取法之調整，故適用於各種比色相關之實驗。

3. 實驗結論

①中國樹蟾：

a. 由實驗可得中國樹蟾對環境的變色有以下現象：

- (a) 在黃色和綠色環境下的像素藍變色曲線幾乎都類似。
- (b) 在白色和棕色環境下，其像素藍的曲線也幾乎都相像，唯頭部例外。
- (c) 在棕色和藍色環境下的像素綠變色曲線幾乎成相反的趨勢，除腿部以外。
- (d) 在紅色和黃色環境下身體與腿部變色趨勢亦一致。

b. 無光時，因爲中國樹蟾雖屬於夏季夜行性蛙類，但由於實驗中的無光實驗，光度爲零，所以中國樹蟾無法做出規律的變色；相較之下，有光的環境使其便於判斷變色的方向，所以得以做出規律的反應。

c. 幾乎頭部的每一張圖內，像素藍及像素綠的走向均極爲相似（若綠上升則藍亦上升，下降亦同），我們推測：

- (a) 以顏料色彩學來看，藍綠二色於”十二色相環”上的位置十分近，表示其成分相去不遠（藍加上少許黃即成綠）
- (b) 以光色彩學來看，藍綠二色於光譜上之位置距離相當近，則其成分相去不遠，所以藍綠走向相近。

d. 對於頭部的變色則有以下推論：

因為根據文獻記述，蛙變色係由頭部開始，所以頭部首先對環境色彩做出反應，而由本研究中的實驗易證明了這一點。而背部和腳部不見此反應，也可藉此推測蛙背部以下的皮膚對反應各色速度並不一致，不如頭部敏感。

②台北樹蛙：

a.由實驗可得台北樹蛙對環境的變色有以下現象：

- (a)在黃色和綠色環境下的像素藍變色曲線幾乎都類似，唯背部例外。
- (b)在黃色和棕色環境下，其像素藍的曲線也幾乎都相像，唯頭部例外。
- (c)在黃色和棕色環境下，其像素綠的曲線也幾乎都相像，唯頭部例外。
- (d)在紅色和綠色的環境中的像素紅都有相反的趨勢，唯頭部例外。

b.對台北樹蛙而言，黃色和棕色環境感覺一樣，所以會有一樣的變色反應。

c.台北樹蛙於紅色、綠色、有光、無光的環境交叉比較下，有明顯的對比色相反現象，光照的有無，影響到其對於對比色（特別是紅色與綠色）的相反反應，但限於類似的訊息不夠充足，所以將此列入未來展望，希望未來能從此中找到更多蛙與色彩學的關聯。

③中國樹蟾與台北樹蛙整體比較：

a.中國樹蟾與台北樹蛙的變色，均可以光色彩學配合色素胞理論解析。

b.於黃色和藍色環境中時，無論是中國樹蟾或台北樹蛙，其像素藍趨勢走向幾乎完全相同。

c.中國樹蟾及台北樹蛙對背景顏色的變色反應多在 15 分鐘以後才能觀察得到。

d.中國樹蟾及台北樹蛙身體部位中變色的難易，從容易到困難的順序是：頭部 > 背部 > 腿部。

e.蛙屬變溫動物，對溫度極敏感，造成於低溫時，色素胞活動較不旺盛，保護色能力降低。

f.乾燥的環境下，中國樹蟾和台北樹蛙變色反應正好與正常環境相反。

g.從分析過程中得到中國樹蟾與台北樹蛙變色和環境像素值的關係：像素紅主導變色，像素綠輔助，像素藍較無關。

h.中國樹蟾及台北樹蛙的變色現象與時間長短有明顯規律可循，如：於黃色和藍色環境中時，其像素藍趨勢走向幾乎完全相同。而所有現象均可以光色彩學解釋。

i.於較低溫的環境下，中國樹蟾與台北樹蛙均有變色較深的趨勢，此與所查得之資料不謀而合。

j.由觀察得知，中國樹蟾變色時身體呈現平滑且極為均勻散佈的深淺色；而台北樹蛙則呈現顆粒色點的分布，皮膚並不光滑，顯示中國樹蟾和台北樹蛙的變色呈現方式不同。如附圖：



④電腦統計分析

以電腦程式分析、量化中國樹蟾及台北樹蛙的變色現象，由實驗證明，極為可行。經由電腦的分析，成功地改良了以往生物實驗的比色法，得以量化所有數據，並客觀的呈現出來。期望未來能以此代替所有生物實驗中較不客觀的比色法，為以後與色彩有關的實驗提供較客觀的方法。

⑤生理學分析：

中國樹蟾及台北樹蛙的變色模型如下：

- ①由眼睛接收從物體反射出之光線，傳至腦部。
- ②以類似人類的光色彩學解析後，確定為了應對周圍環境所應做的變色方向。
- ③分泌激素，並由血液擴散至全身，驅動色素胞活動。
- ④經由色素胞中各胞器的集中、分散，變色。

（二）研究應用

近代科技，一日千里，其中，以數位科技的發展尤其快速、蓬勃，日異月新，然而在化學、物理與數位科技發展幾乎已達息息相關的同時，生物學，這一個與人類生活最貼近且實際的學科，卻有一大部份仍侷限於傳統的實驗方法，改良實驗雖層出不窮，但卻始終無法真正與這一個也漸漸融入今日生活的數位科技相結合。

色彩，一種大自然最奇妙的創造，一種人類在每一天的生活中不可或缺的必需品，卻長久以來缺乏量化的方法，始終無法滿足科學家對之的好奇心，若無法深入解析之，會成為人類文明中最大的遺憾。

本研究，藉由現今最熱門且幾乎家家必備的數位相機，與生物實驗中長久以來被指為欠缺客觀性的比色實驗相結合，使用愈來愈普遍的程式設計撰寫程式，並於多方嘗試後製作出了這一系列的觀察、分析，終於成功地將炙手可熱的數位科技與神秘的色彩相結合，以數位科技量化了色彩，並得以解析、研究之，本研究堪稱成功。

（三）研究展望

1. 在研究過程中得知中國樹蟾為樹棲夏蛙，台北樹蛙為地棲冬蛙，且二者於飼養箱中常有不同的行為表現，渴望未來可續做二者在較小溫度間距下，如：15°C,20°C,25°C,30°C等的變色行為之研究，以及其他相關特殊行為之探討。
2. 修改「實驗操作設計」，將實驗光源白熾燈包上四種不同的玻璃紙(紅、黃、綠、藍)，以改變其波長，且不將塑膠盒套入各色紙盒中，直接置於實驗光源前，希望藉以了解不同波長的色光對其變色之影響。

3. 修改「實驗操作設計」，將實驗光源白熾燈利用包紗布的方式改變其光度為 0,100,300,500,700 lux，以進行各顏色環境下不同光度的反應趨勢比較。
4. 充分了解其他會變色之生物後，利用已配合其需求適切修改後的「實驗操作設計」進行其變色行為之研究。
5. 嘗試找出不必在暗室中進行數位科技比色法的方法，進行以下五個實驗：
 - (1) 環境溫度與取得之照片所呈現色彩間之關係
 - (2) 環境光度與取得之照片所呈現色彩間之關係
 - (3) 環境溼度與取得之照片所呈現色彩間之關係
 - (4) 環境光源波長與取得之照片所呈現色彩間之關係
 - (5) 環境光源入射角與取得之照片所呈現色彩間之關係若能綜合以上五點變因，將取得之照片所呈現色彩與其之間關係列為一組方程式，便可將研究地點擴展置任何地方，且同時均能有相同之比色基礎，此為本研究報告下一段落最大之努力方向。

五、參考資料：

1. 呂光洋，台灣的兩棲類動物，初版，板橋市：台灣省政府教育廳/第 38 至 42 頁 (2000 年)
2. 呂光洋、杜銘章、向高世，台灣兩棲爬行動物圖鑑，初版，台北市：自然雜誌社，第 32 至 33 頁及第 48 至 49 頁
3. 林文廣、林建人，Visual Basic 6 新世代高手，初版，台北市：碁峰資訊，第 20-1 至 20-44 頁(1998 年)
4. 林春輝，大美百科全書，初版，台北市：光復書局，第六冊及第二十二冊(1996 年)
5. 李蕭錕，色彩的魅力，二版，台北市：時報出版公司，第 10 至 13 頁,(1986 年)
6. 易希陶，中山自然科學大辭典，初版，台北社：台北商務印書館，第九冊，第 571 至 589 頁(1974 年)
7. 潘智敏，台灣賞蛙記，初版，台北市：大樹出版，第 22、42、72、78、83、106、146 頁(2000 年)
8. 陳篤正，1998「色彩與人生」學術研討會論文集 上冊，初版，台北市：國立台灣藝術教育館，第 32 至 64 頁(1998 年)
9. Nardi, James B. 金恆鏞譯，生命之樹，初版，台北市：允晨文化，第 86 至 88 頁 (1999 年)

附件一 中國樹蟾和台北樹蛙比較

(一) 結果

	中國樹蟾	台北樹蛙
照片		
眼帶	有黑褐色眼帶。	沒有眼帶，但眼睛部分有一條極細的黃色突起。
築巢	產卵粒於水草或落葉的水中，保護措施較少	在土中築巢，產卵泡，保護措施較多
生殖季節	春~夏 3~8 月	10~3 月 以冬為主
體背	背面光滑	背面有黃、白、灰顆粒狀小斑點
大腿內部顏色	大腿內部為鮮艷的橘黃色。有約 0.3 公分的較大塊黑色警示斑。	大腿內部為淡黃色。有約 0.05 公分的較小塊灰色斑點。
將中國樹蟾及台北樹蛙的體型數據經換算後以體長 4 公分的比例呈現如下		
體長	4 公分	4 公分
體重	3.08 公克	5.16 公克
後腳長度	1.94 公分	1.73 公分
前腳長度	0.9 公分	0.98 公分
掌寬	1.35 公分	1.11 公分
吸盤直徑	0.26 公分	0.22 公分
主要棲息方式	樹棲	地棲

(二) 結論

1. 二者形態特徵上最大的差別為：

(1) 中國樹蟾有黑褐色眼帶，台北樹蛙無。

(2) 中國樹蟾體腹兩側及大腿兩側有黑色斑點，台北樹蛙無。

2. 二者出沒季節有明顯差異：中國樹蟾為夏蛙，台北樹蛙為冬蛙。

1. 中國樹蟾體重較輕、吸盤較大、後腿較長，所以中國樹蟾為樹棲蛙。

2. 台北樹蛙體重較重、吸盤較小、後腿較短，所以台北樹蛙為地棲蛙。

(三) 討論

1. 由按比例所得的數據顯示，中國樹蟾後腳長於台北樹蛙 10.8%，且經過觀察發現中國樹蟾跳躍遠近的比例大於台北樹蛙。推測跳躍遠近和後腳長呈正向關係，同時也表現出樹棲蛙和地棲蛙的差異。
2. 根據我們觀察台北樹蛙前腳較粗於中國樹蟾，推測由於台北樹蛙為地棲蛙，為便於挖土而發展出的特徵。
3. 由等比例可知，台北樹蛙體重較中國樹蟾重 67.5%，推測因中國樹蟾為樹棲蛙，較台北樹蛙有靈活移動之必要。
4. 中國樹蟾的吸盤較台北樹蛙大 18.2%，且掌寬大 21.6%，推測因中國樹蟾為樹棲蛙，為了攀爬需較強的吸附力。
5. 卵泡較卵粒易保濕，推測台北樹蛙因產卵於土中，保濕不易，故以卵泡形式繁衍後代，具有保護作用。

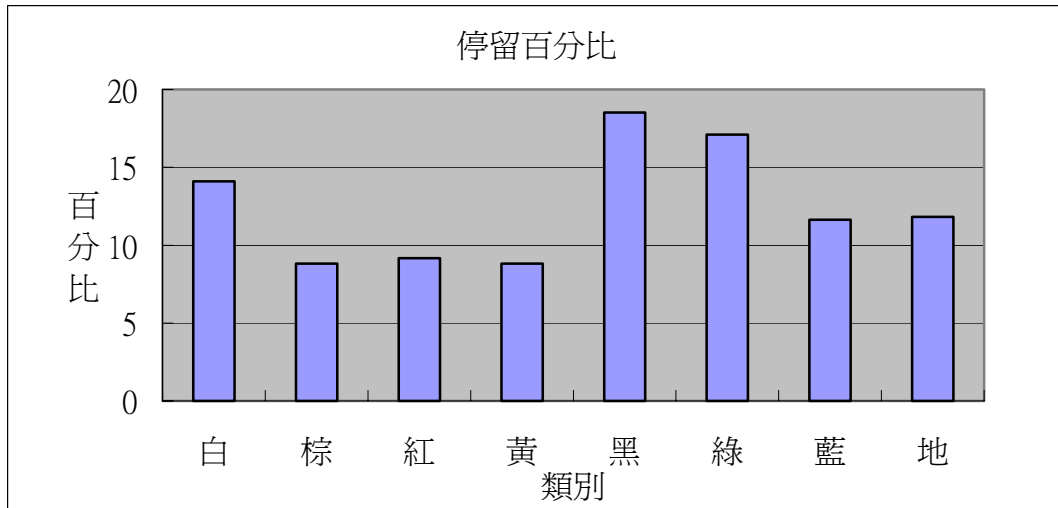
實驗二 中國樹蟾對各種不同環境顏色的喜好探討

1. 將其放至飼養箱中（已撤去先前在飼養時為之所佈置的蕨類、石頭、水盆及植物，僅保留底層土壤）。
2. 在飼養箱四周，利用數學中的亂數表隨機貼上白、棕、紅、黃、藍、綠、黑七種西卡紙（同實驗三至六中所使用之西卡紙）。將飼養箱置於暗室中以固定光源及光度（450 lux），並於觀察記錄期間觀察箱中不擺水盆，以排除濕度對蛙選擇棲地的影響力，改採用頻繁的噴水以便均勻噴灑。（如照片）
3. 每天按時紀錄光度、溫度、溼度及青蛙所處位置等，藉以了解青蛙是否較喜歡棲息在特定顏色上。



（一）結果

環境顏色	白	棕	紅	黃	黑	綠	藍	地
停留百分比	14.11	8.82	9.17	8.82	18.52	17.11	11.64	11.82



黑 (18.5%) > 綠 (17.1%) > 白 (14.1%) > 地 (11.8%) > 藍 (11.6%) > 紅 (9.2%) > 黃 (8.8%) = 棕 (8.8%)

(二) 結論

中國樹蟾較常停留在黑色和綠色的環境。

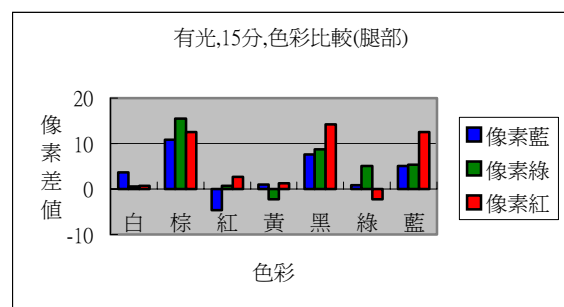
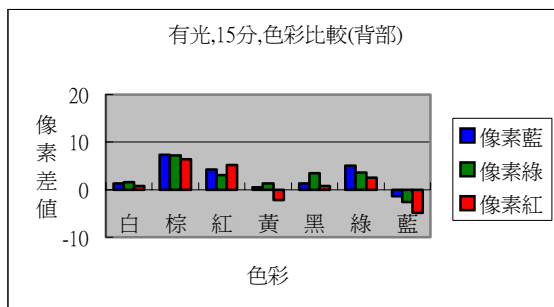
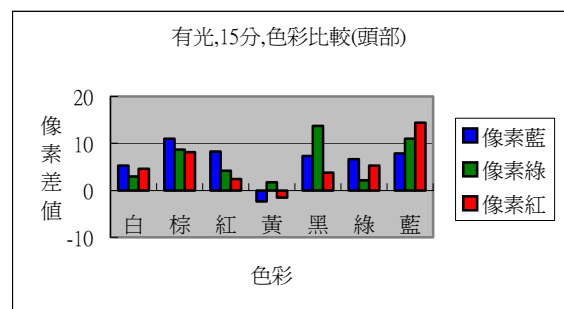
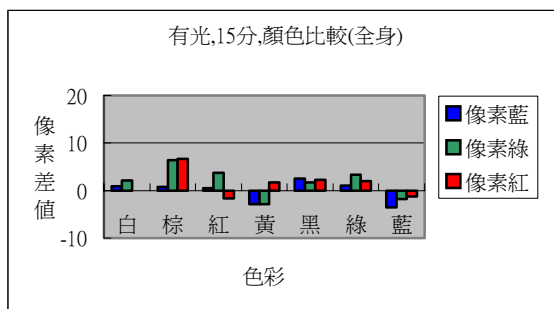
(三) 討論

由於中國樹蟾是樹棲蛙，其生活環境以黑色及綠色居多（有陽光時，葉面為綠色，無陽光時，葉面為黑色），所以其停留於黑色及綠色的環境上較多。

初步研究實驗一的實驗裝置及內容改良討論：

附件二 背景環境顏色對中國樹蟾變色情形的影響

(一) 結果



(二) 結論

- ①整體變異值較大(>5)的環境：棕、紅、黑、綠、藍
- ②整體變異值較小(<5)的環境：白、黃
- ③頭部變淡之情形很明顯，腳亦有變淡的傾向，但背部沒有大變化。

(三) 討論

由於在其他的環境下無明顯規則變化，所以我們繼續做延長時間的觀察。

實驗二 有色環境停留時間與中國樹蟾及台北樹蛙變色的關係

(一) 結果：見說明書後附錄

以下均由歸納後的圖表所得之結論，分別由光色彩學和生理學角度進行中國樹蟾及台北樹蛙變色結果之討論。

評語

本作品是一件生物、影像與電腦結合的一件作品，研究過程深具創意，成果亦具科學的說服力，為一良好的科學作品，唯作者如果能再從使用的數量 eB 所應用的分析方法再下工夫可能會有更良好的、更具突破性的發現。