

中華民國第42屆中小學科學展覽會

::: 作品說明書 :::

高中-生物科

科 別：生 物 科

組 別：高 中 組

作品名稱：蛙！你好色！！

以數位科技量化青蛙變色生理之研究

關 鍵 詞：

編 號：040704

學校名稱：

國立新竹女子高級中學

作者姓名：

王 潔、劉宜昀、蕭軒梅

指導老師：

徐以誠、陳季瑄



蛙！你好色！

-以數位科技量化青蛙變色生理之研究

一、 研究動機：

在一個下雨的午後，我們在香山牧場同學家中討論著報告，突然在窗櫺上看見了一隻綠色的青蛙（中國樹蟾），我們一時興起，伸手將他抓了來，赫然發現手中的它，變起色來，於是開啟了我們對它這項特異功能的好奇。在收集了許多種青蛙，並於十八尖山上獲得一批台北樹蛙後，開始進行研究。但由於肉眼辨色難免有主觀認定的困擾，為求客觀與精準，於是我們採用數位相機及電腦處理做為主要研究方式。

二、 研究目的：

- （一）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）探討與建立中國樹蟾及台北樹蛙的變色機制及模型。

三、 研究對象及器材：

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
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	

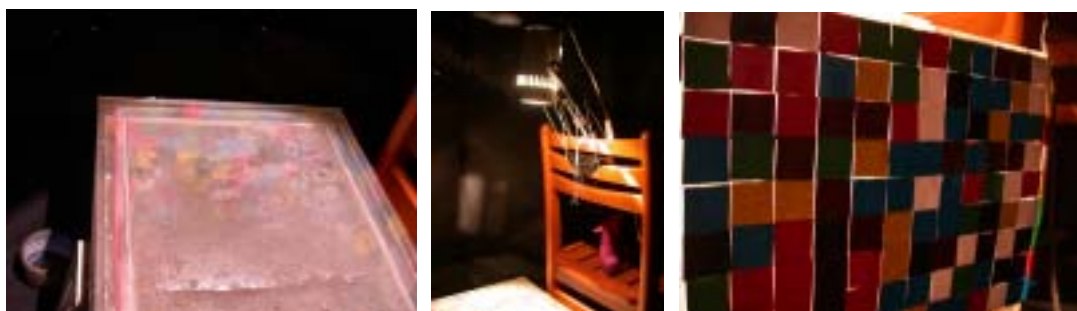
四、 研究過程：

實驗一 中國樹蟾及台北樹蛙的比較

我們在春天於十八尖山上無意中獲得一批垂死的台北樹蛙，將之救起，並予以悉心照料。由於我們恰好在研究中國樹蟾的變色行為，發現台北樹蛙亦屬會變色的綠色樹蛙，於是開始進行兩者之間形態的比較。期間以每星期測量各青蛙之吻肛長（口吻部至肛門）及體重，來監測青蛙之健康情形。

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。



實驗三 背景環境顏色對中國樹蟾變色情形的影響

（1）實驗方法：在暗室中進行

1. 	將中國樹蟾早 60 分鐘自飼養箱中拿出洗淨，於盒中及中國樹蟾身上噴水，以保持盒內 100%的溼度。分別置於包裹在微透光的白色宣紙中之透明塑膠盒中，以便統一其初色。
2. 	實驗前 5 分鐘，將相機及光源開啟。

3. 	於 20 秒內將盒蓋打開並予以拍照，防止時間過久導致中國樹蟾顏色劇烈改變。
4. 	分別拍照完畢後，立即將塑膠盒套入各色紙盒中（白、棕、紅、黃、黑、綠、藍）。
5. 	依序將七個盒子放上實驗桌，所照光度均控制為 600 lux，擺在步驟 1.中未包紗布的光源行進方向，使光源能由七個盒子之側透入。

6.以碼表計時，等待實驗所須時間。（15 分鐘）

7.同步驟 3. 拍照。

8.實驗完畢後，將中國樹蟾放回飼養箱中休息至少 120 分鐘。

實驗四 有色環境停留時間與中國樹蟾及台北樹蛙變色的關係

同實驗三，但將實驗時間增為 15、30、60、90 分鐘，並加入台北樹蛙進行實驗。進行一組黑暗中的實驗以作為對照組，即不開啟實驗光源。

實驗五 環境溫度對中國樹蟾及台北樹蛙變色情形的影響

1.在進行完實驗四之後，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。

2.降低溫度的方法：於進行實驗三中之步驟 5.時於每個透明塑膠盒上均置上一個

- 內裝 5.5g 的冰的塑膠盒，以改變其溫度至 15℃。（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）
- 3.同實驗三的步驟處理，但時間為 60 分鐘，即有兩個實驗如下：
- (1)白色環境，照光 60 分鐘
 - (2)棕色環境，照光 60 分鐘

實驗六 環境溼度對青蛙變色情形的影響

- 1.降低濕度的方法：於進行實驗 1.時在照初色之前，在 20 秒內將塑膠盒中及青蛙身上多餘的水擦乾使其保持乾燥，使實驗環境濕度低至約 60%。
- 2.同實驗三步驟處理，但時間為 60 分鐘，即有兩個實驗如下：
 - (1)白色環境，照光 60 分鐘
 - (2)棕色環境，照光 60 分鐘

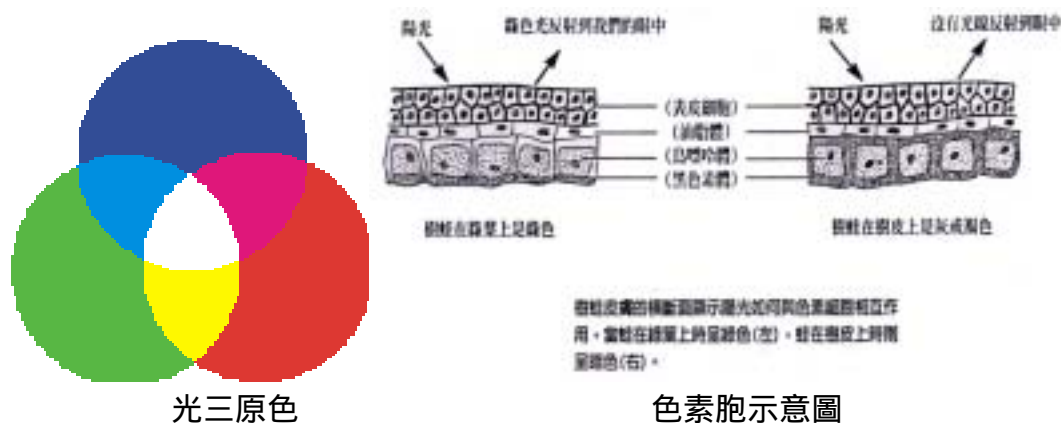
五、電腦統計方式：

- 1.將先前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（除去眼帶及腹部）。
- 2.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、高，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的像素區塊，如：第 10652 個點中所含的藍色像素值、綠色像素值、紅色像素值各為多少。
 - d. 統計藍色像素值中各個數值共有多少個點，綠色、紅色亦同。
 - e. 以柴比雪夫不等式算出影像統計後的標準差，根據標準差截去常態分布圖的前後約各 15~25 %。
 - f. 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。
 - g. 以記事本形式表現讀取所得之資料。
- 3.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。
- 4.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。
- 5.將相同條件下的多次實驗結果加以平均。
- 6.以 5.之像素差值用 Excel 作出各種圖表。
- 7.數值分析之原理：

- (1) 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。
- (2) 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。

六、分析方式

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。



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)
內含機制	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：

- 油脂體：控制青蛙體色的各種波長變化。
- 黑色素體：控制青蛙體色的明暗變化。
- 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。

七、實驗結果、結論及討論

實驗一 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。

3. 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。

4. 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。

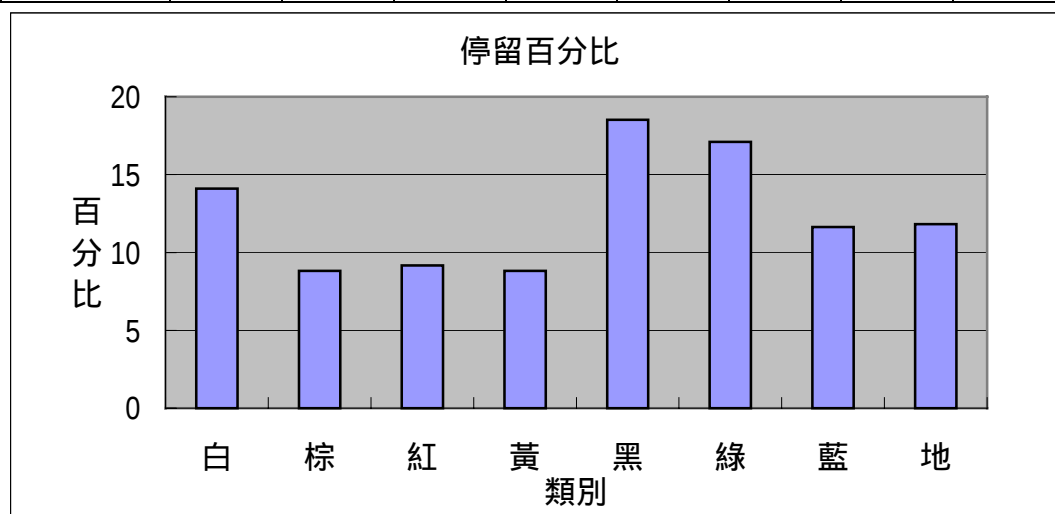
(三) 討論

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

(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。

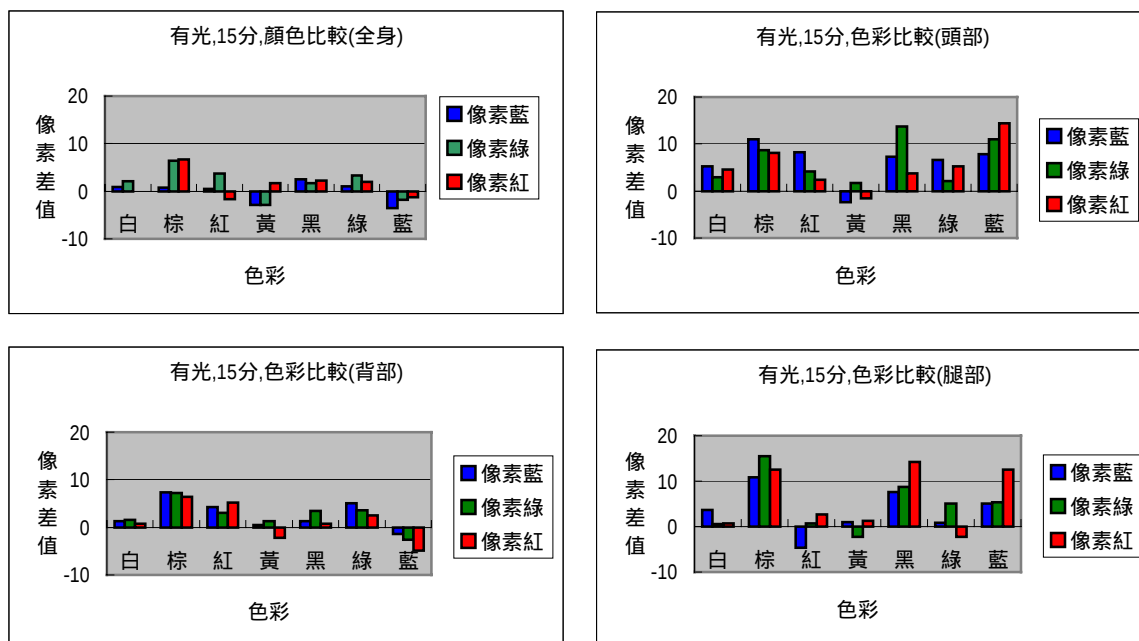
實驗三~六的實驗裝置及內容改良討論：

1. 實驗光源	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。 2.在請教物理老師後，我們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。	
2. 照相光源	由於若使用閃光燈會影響顏色的判定，所以我們捨棄相機的閃光燈，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。	
3. 暗室	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。 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。	
4. 蛙體色的觀察記錄	1.一開始我們利用光柵分析蛙體色，但有主觀上判定的差異，且無法量化。 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。 3.我們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。 4.我們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 分鐘將相機開啟，以達到亮度的平衡。	

5. 拍照及實驗方式	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，所以我們將青蛙的活動範圍縮小成一個透明塑膠盒。 2.我們借了翻拍機，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，我們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。	
------------	---	--

實驗三 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。

實驗四 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。

我們用如上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

利用以上數據算出以下表格中「環境」的像素差值，以便比較推論。

(二) 結論

甲、中國樹蟾

1. 在黃色和綠色環境下的像素藍變色曲線幾乎都類似。
2. 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。
3. 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。
4. 在紅色和黃色境下身體與腿部變色趨勢亦一致。

乙、台北樹蛙

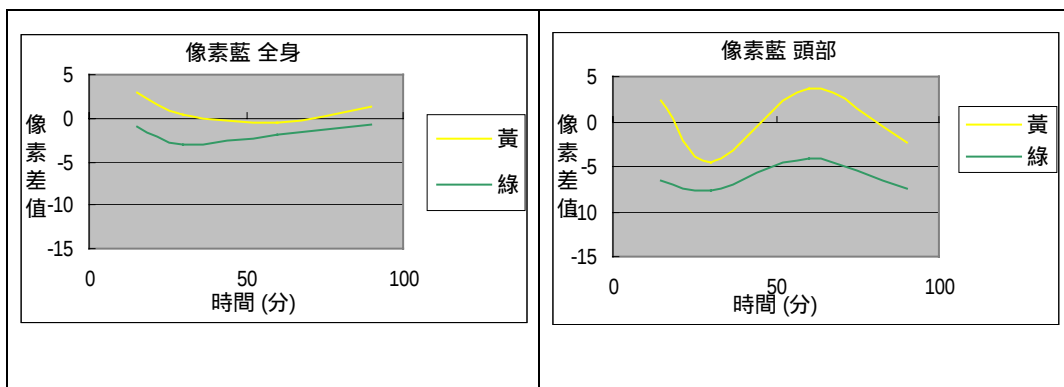
1. 在黃色和綠色環境下的像素藍變色曲線幾乎都類似，唯背部例外。
2. 在黃色和棕色環境下其像素藍的曲線也幾乎都相像，唯頭部例外。
3. 在黃色和棕色環境下其像素綠的曲線也幾乎都相像，唯頭部例外。
4. 在紅色和綠色的環境中的像素紅都有相反的趨勢，唯頭部例外。

丙、分析

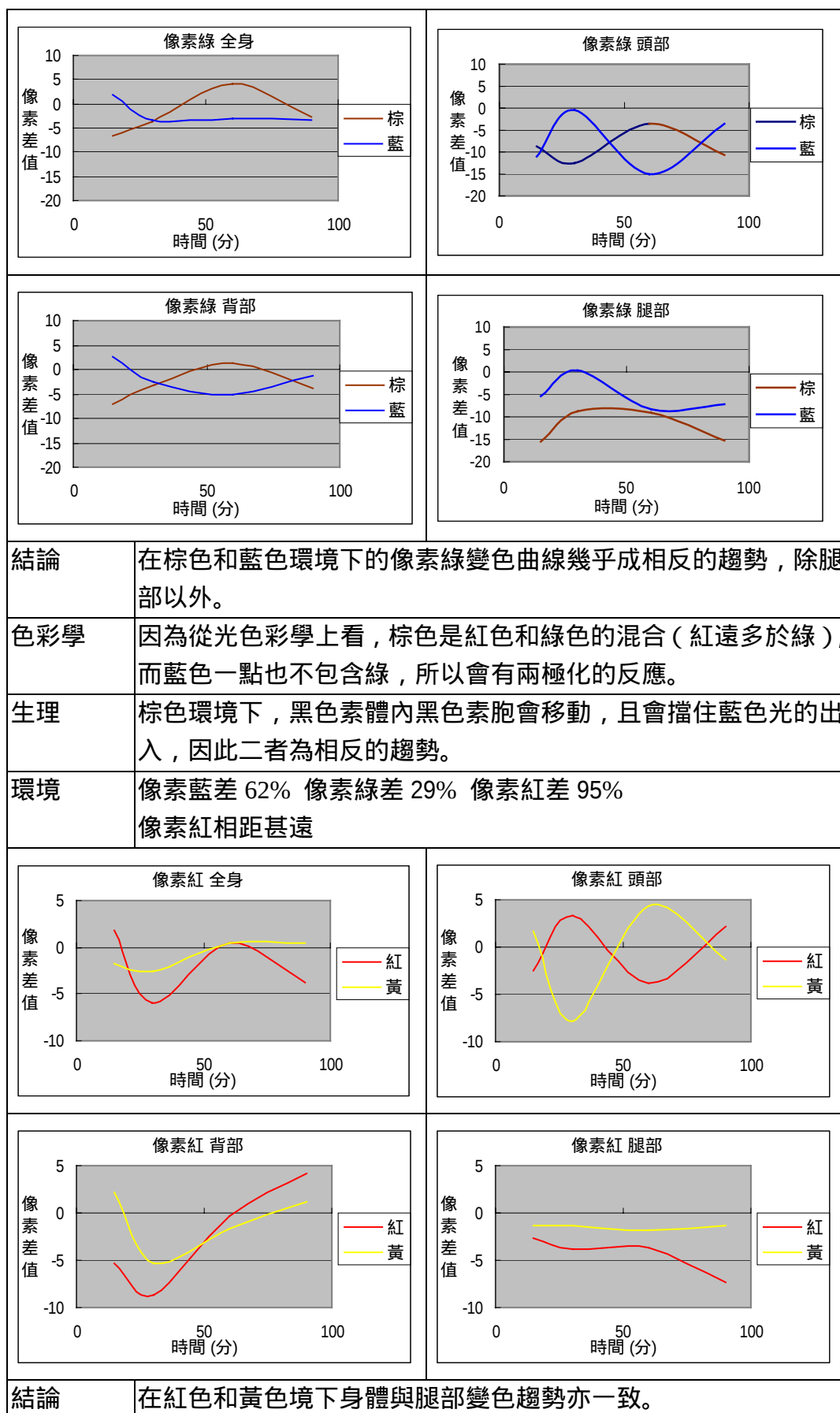
1. 中國樹蟾與台北樹蛙的變色，均可以光色彩學配合色素胞理論解析。
2. 從分析過程中得到中國樹蟾與台北樹蛙變色和環境像素值的關係：像素紅主導變色，像素綠輔助，像素藍較無關。

(三) 討論

甲、中國樹蟾

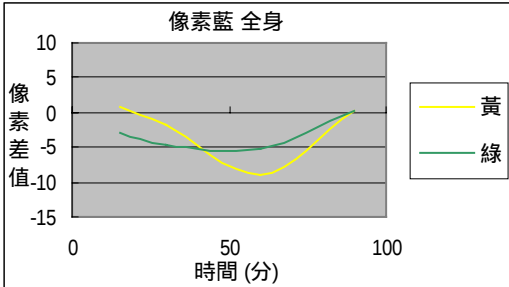
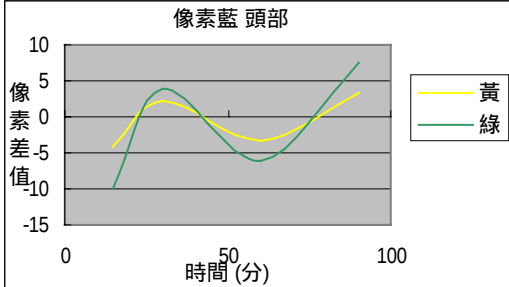
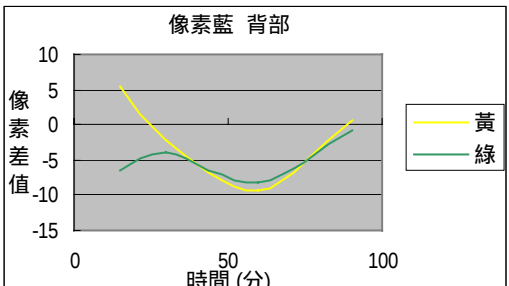
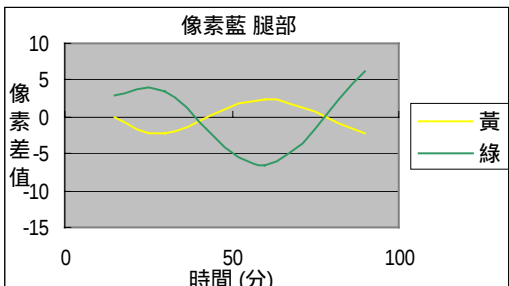
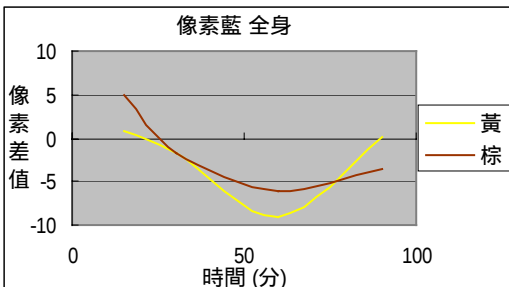
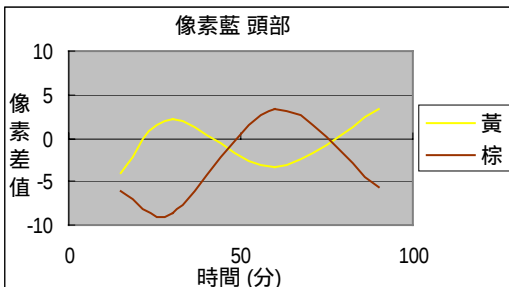


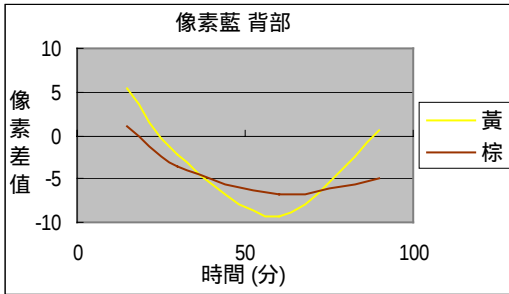
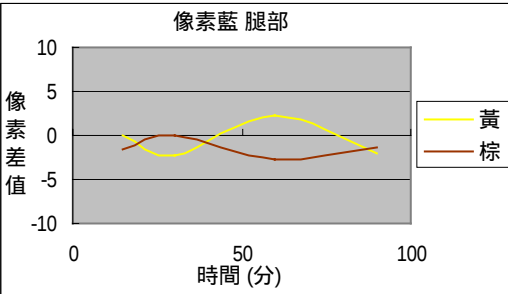
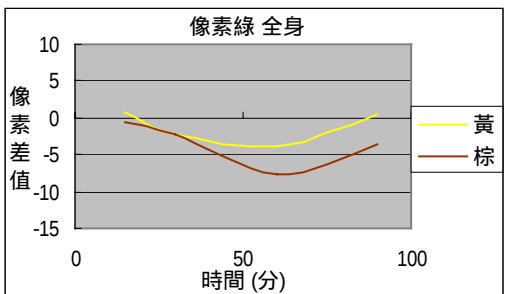
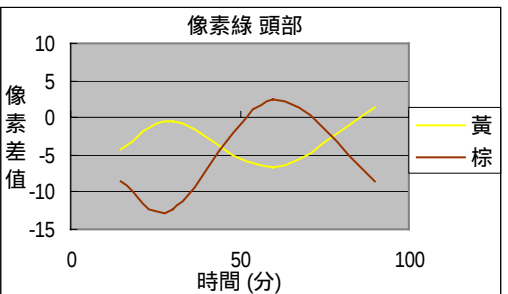
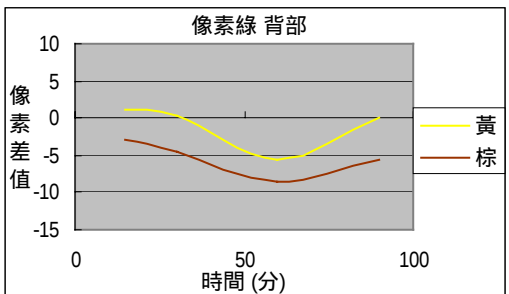
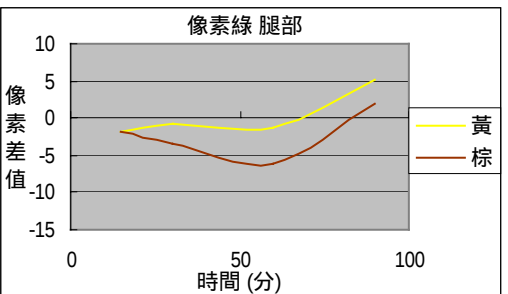
像素藍 背部 像素藍 腿部	
結論	在黃色和綠色環境下的像素藍變色曲線幾乎都類似。
色彩學	黃色是紅色和綠色一比一的混合，黃色的出現與藍色無關，所以在黃色和綠色的環境中，像素藍的曲線無差別。
生理	在黃色和綠色環境下，油脂體內色素胞器分散情形相似，即白光中所含的藍光被反射的量相同。
環境	像素藍差 44% 像素綠差 6% 像素紅差 76% 像素綠接近、像素紅相距甚遠
像素藍 全身 像素藍 頭部	
像素藍 背部 像素藍 腿部	
結論	在白色和棕色環境下其像素藍的曲線也幾乎都相像，唯頭部例外。
色彩學	因為從光色彩學上看，棕色是紅色和綠色的混合（紅遠多於綠），所以藍亦不變。
生理	在白色和棕色環境下，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。
環境	像素藍差 61% 像素綠差 45% 像素紅差 2% 像素紅接近

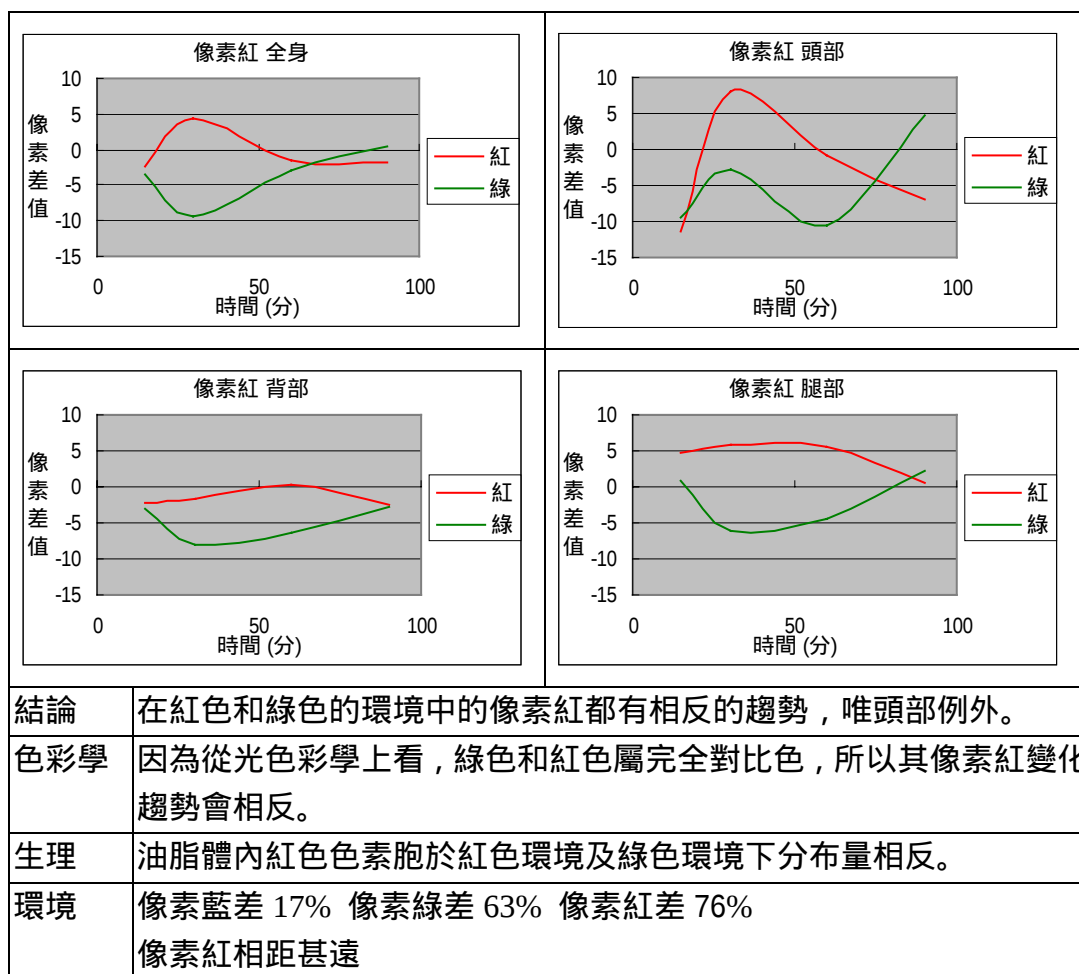


色彩學	從光色彩學上看，黃色是紅色和綠色一比一的混合，是以黃色的紅色成分與紅色幾乎相同，僅在成分多寡上有差，所以其像素紅變化趨勢會相同。
生理	在紅色和黃色環境下，油脂體內色素胞器分散情形相似，且油脂體內紅、橙、黃色素胞分散情形相同。
環境	像素藍差 27% 像素綠差 57% 像素紅差 0% 像素紅接近

乙、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	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。
環境	像素藍差 44% 像素綠差 6% 像素紅差 76% 像素綠接近、像素紅相距甚遠
	
	

像素藍 背部 		像素藍 腿部 	
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	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。		
環境	像素藍差 28% 像素綠差 29% 像素紅差 0% 像素紅接近		
像素綠 全身 		像素綠 頭部 	
像素綠 背部 		像素綠 腿部 	
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	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。		
環境	像素藍差 28% 像素綠差 29% 像素紅差 0% 像素紅接近		



實驗五 環境溫度對青蛙變色情形的影響

(一) 結果

甲、中國樹蟾

為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	↓	↓	↓	↑

乙、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	↓	↓	↓	↓

(二) 結論

實驗顯示中國樹蟾與台北樹蛙均有於低溫環境下比於常溫環境下變色較深的趨勢。

(三) 討論

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。

實驗六 環境溼度對青蛙變色情形的影響

(一) 結果

甲、中國樹蟾

為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	↓	↓	↑	↓

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

乙、台北樹蛙

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

棕有光				
	全身	頭	身體	腳
藍	↑	↑	↑	↑
綠	↓	↑	↓	↓
紅	↓	↑	↓	↑

(二) 結論

1. 在白色環境下，中國樹蟾和台北樹蛙於乾燥環境比濕潤環境變色較深。
2. 在棕色環境下，中國樹蟾和台北樹蛙於乾燥環境比濕潤環境變色較淺。

(三) 討論

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。

八、研究結論

甲、中國樹蟾

1. 無光時，因為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，光度為零，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。
2. 幾乎頭部的每一張圖內，像素藍及像素綠的走向均極為相似（若綠上升則藍亦上升，下降亦同），我們推測：
 - (1)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）
 - (2)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。
3. 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。

乙、台北樹蛙

1. 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。
2. 台北於紅色、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。

丙、中國樹蟾與台北樹蛙整體比較

1. 中國樹蟾和台北樹蛙型態特徵上最大的差別為，中國樹蟾有黑褐色眼帶且體腹兩側及大腿兩側有黑色斑點，台北樹蛙則無。且中國樹蟾為夏蛙，台北樹蛙為冬蛙。
2. 於黃色和藍色環境中時，無論是中國樹蟾或台北樹蛙，其像素藍均走向幾乎完全相同。
3. 中國樹蟾及台北樹蛙對背景顏色的變色反應多在 15 分鐘以後才能觀察的到。
4. 中國樹蟾及台北樹蛙身體部位中變色，從容易排到難的順序是：頭部 > 背部 > 腿部。
5. 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，保護能力降低。
6. 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。
7. 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。
8. 中國樹蟾及台北樹蛙變色對時間有明顯規律可循，如：於黃色和藍色環境中時其像素藍均走向幾乎完全相同。而所有現象均可以光色彩學解釋。
9. 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。
10. 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：



丁、統計及分析方式

1. 以電腦程式分析、量化中國樹蟾及台北樹蛙的變色，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。

2. 中國樹蟾及台北樹蛙的變色模型如下：
 - a. 由眼睛接收從物體反射出之光線，傳至腦部。
 - b. 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。
 - c. 分泌激素，並由血液擴散至全身，驅動色素胞活動。
 - d. 經由色素胞中各胞器的集中、分散，變色。

八、未來展望：

從去年暑假第一次望著手中遽然變色的中國樹蟾，心中感到莫名的驚喜後，便和青蛙解下不解之緣。經過一年的摸索及實驗，我們和青蛙培養出一種親密的情感，同時亦因飼養青蛙，而結識的不少對青蛙有愛心的師長及朋友，所獲甚豐。在實驗過程中，我們不斷嘗試錯誤及改良我們的實驗方法，其中歷經每當下課中響即趕往實驗室的日子，和放學各自在七點半的路上回家。當這篇報告在電腦上呈現時，是一種辛苦逐漸累積而成的成就感，及一種付出終有回饋的滿足感。但經過這些日子來的觀察，除了青蛙的變色能力外，我們亦發現許多關於青蛙的種種可愛之處，對於他們的行為也產生好奇。希望在往後的日子中，我們可以再次和青蛙合作，去發現他們更有意思的地方。

九、參考資料：

1. 中山自然科學大辭典 第九冊 第三脊椎動物 第三篇 兩生綱 第二、三、四章
2. 台灣兩棲爬行動物圖鑑 自然雜誌社出版 呂光洋、杜銘章、向高世著
3. 台灣賞蛙記 大樹出版 潘智敏著
4. 大美百科全書 光復書局出版 第六冊 二十二冊
5. 台灣的兩棲類動物 台灣省政府教育廳出版
6. 生物學 環球書社 諸亞農、溫永福、呂理福、曾文雄
7. 生命之樹 允晨文化 Nardi, James B. 金恆鑣譯
8. 色彩的魅力 時報出版公司 李蕭銀
9. 1998「色彩與人生」學術研討會論文集 上冊 國立台灣藝術教育館 陳篤正
10. VISUAL BASIC for MS WINDOWS 程式設計 松崗電腦圖書資料股份有限公司 林啟隆著