

中華民國第四十六屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 物理科

040107

昆蟲複眼對光敏感度之光學分析

學校名稱：基隆市立暖暖高級中學

作者：	指導老師：
高二 游書桓	張志康
高二 柯宇鴻	
高二 蘇汶建	
高二 陸智瑄	

關 鍵 詞：複眼、敏感度、光學分析

昆蟲複眼對光敏感度之光學分析

摘要：

隨著物理、化學、生物等各學科的成熟，使得新興的複合學科成了當今炙手可熱的焦點，例如：生化科技(生物+化學)、奈米技術(物理+化學+生物)等，當然，它們也帶動了人類世界相當大的進步。因此，生活中看似理所當然的現象，若從不同學科的角度觀察，或許也能得到意外的收穫。本研究主要是以「物理光學的角度」分析「昆蟲複眼的視覺感受」研究的現象則從「驅趕蒼蠅的清水袋」出發，試圖找出影響蒼蠅視覺最敏感的水袋顏色。然後，再以此種色光為主要，配合物理光學的成像知識與製作昆蟲複眼的巧思，分析「不同結構的複眼」在接收該色光後，其視網膜「成像的偏異情形」研究結果的發現有二；第一，複眼對紫光最為敏感，這樣的結果與「某些昆蟲複眼僅能看到短波長色光」的說法不謀而合。第二，從物理光學的角度亦能證實生命科學的說法，即「昆蟲的複眼曲度越大，對光線越為敏感」、昆蟲複眼中小眼越多，對光線越敏感」等等。因此，本研究成功地用物理的方法解釋了昆蟲複眼的視神經感受，如此微妙結果，到底是意外呢？還是科學的神奇之處？一切的一切，將在以下的內容中說清楚、講明白……

壹、研究動機：

一般的商店都會在食物販賣品上，吊清水袋或光碟片來驅趕惱人的飛蟲，這到底是為什麼呢？雅虎奇摩知識網的解釋是：「由於昆蟲的眼睛是複眼結構，且『複眼與生具有的特性』會被清水袋所反射的光線干擾而產生視覺混亂，因而被迫驅離。」然而，到底『複眼與生具有的特性』是什麼呢？此外，如果清水袋顏色不同的話會不會產生不同效果呢？再者，不同種類的昆蟲對於光的敏感度又會有何差異呢？這些心中的疑慮便引起了我們的研究興趣，進而讓我們開啟了「認識複眼的研究之旅」。

為了要認識昆蟲複眼，我們除了從生物的叢書中探究其奧秘之外，又該如何從具體的操作中完成科學的分析呢？在百般無奈的情況下，大夥竟突發奇想，試圖打造一副「昆蟲複眼模型」來做具體的分析。因此，四個人也就隨興地設計出「製作複眼的六角凸眼袋(當小眼用)」、「固定凸眼袋的鐵網角膜」、「充當視神經網膜的籃球屏幕」...等，完成了自認第一具「頗具質感的昆蟲複眼模型」此模型雖無法用生物的角度做分析，但它卻可用物理光學的角度去解釋成像情況，就在這樣的因緣際會下，讓我們將「認識複眼的研究之旅」轉為「複眼光學分析的新旅程」。

貳、研究目的：

- 一、製作能有效模擬昆蟲複眼的裝置。
- 二、找出影響昆蟲視覺最敏感的水袋顏色。
- 三、利用不同顏色的光線照射複眼模型，找出視網膜光點偏移(光敏感度)最大的色光。
- 四、以光敏感度最大的色光照射不同曲度的複眼模型，找出曲度與光敏感度之關係。
- 五、以光敏感度最大的色光照射不同小眼數的複眼模型，找出小眼數與光敏感度之關係。

參、研究設備及器材：

一、研究器材：

- (一) 透明塑膠袋..... 9 袋
- (二) 燒杯..... 5 個
- (三) 新鮮荔枝..... 5 顆
- (四) 蛆(蒼蠅幼蟲)..... 數隻
- (五) 墨水(紅、黃、綠、藍、紫色)..... 5 瓶
- (六) 封口機、封口夾..... 1 組
- (七) 弧形鐵網(平、凸)..... 1 組
- (八) 高亮度手電筒、雷射筆..... 1 支
- (九) 固定架..... 2 支
- (十) 玻璃紙(紅、黃、綠、藍、紫色)..... 5 張
- (十一) 籃球..... 1 顆
- (十二) 紗布..... 5 包

二、研究設備：

(一) 昆蟲複眼的製作：

從網路與書上的資料得知：昆蟲複眼中的小眼呈六角形，並具凸透鏡的功能。為了要真實模擬出複眼結構，我們在透明塑膠袋上描繪邊長為 2 公分的六角形，並在其中一邊預留一長方形空間不剪(圖一)。用封口機密封其邊緣但不完全密封長方形空間，使之成為管狀。加水直至水袋飽滿，然後密封管口，再把多出來的空氣擠到長方形處，壓緊預留的一邊，使其形成一飽滿六角形水袋(圖二)。最後，將水袋用泡棉膠固定在鐵絲網上形成一副許多小眼的昆蟲複眼結構(圖三)。【註 1：蒼蠅的複眼就是由許多小眼構成。最外面蓋有一個透明平凸的角膜，內有晶體聚焦和視桿接收光線並傳到視神經】【註 2：因六角形水袋的凸狀圓弧及透光特性與凸透鏡相似，且比玻璃的凸透鏡方便固定，故本模型以此種水袋用來製作昆蟲的小眼】



圖一



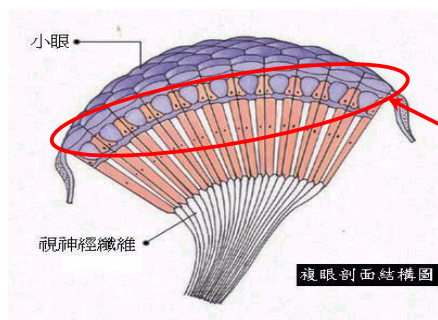
圖二



圖三

(二) 昆蟲視神經網膜(屏幕)的製作：

由於昆蟲的視網膜和其複眼的弧度相同(圖四)，所以我們所模擬的昆蟲視網模用曲度相近的籃球為材料，以紗布包裹籃球，然後將紙箱一面畫上一圓並以美工刀切下此圓，再將做好的籃球屏幕放置於割好的紙箱內，將其固定在紙箱是因為可方便放置也可依需要增加或減少露出半弧狀的曲度(圖五)。



圖四



圖五

肆、研究過程或方法：

一、不同顏色色光對昆蟲複眼的敏感度：

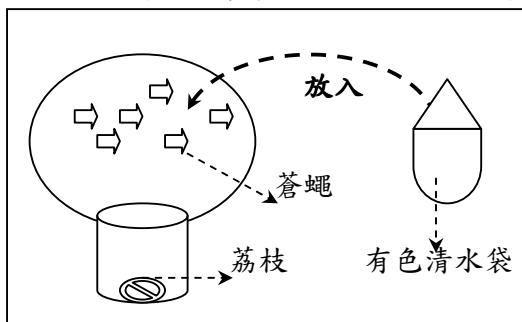
(一) 實驗一：找出影響昆蟲視覺最敏感的水袋顏色。

1. 實驗方法：

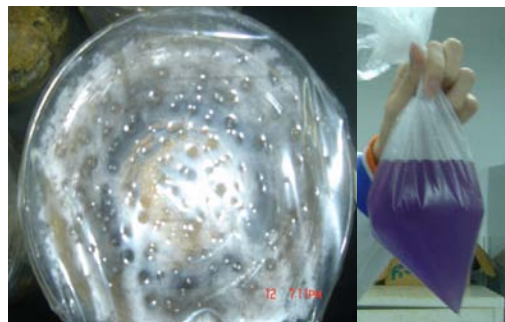
以荔枝當作蒼蠅的誘餌，利用不同顏色的清水袋作為驅趕蒼蠅的工具，找出何種顏色的清水袋對蒼蠅覓食最具干擾性。干擾性越強的清水袋，則代表該色對蒼蠅的視覺感受最為敏感。【註：我們可以從生物學的角度，觀察停留在荔枝上的蒼蠅數去決定受干擾的程度；若停留蒼蠅數越多則代表清水袋越不易干擾】

2. 實驗步驟：

(1) 分別將五顆已經剝皮的荔枝(包含荔枝殼)放入五個大燒杯內，於杯口上方再覆蓋相同的大型透明塑膠袋，如圖六、圖七所示。

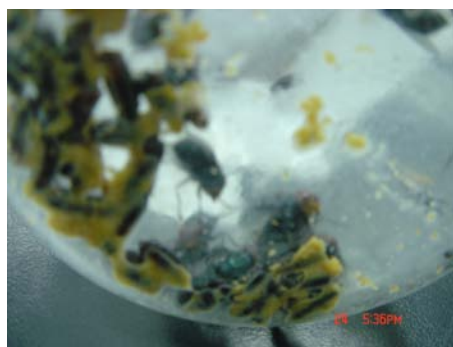


圖六



圖七

(2) 分別放入 10 隻同時由蛆成蟲的蒼蠅(圖八、圖九)【註：小心不讓蒼蠅飛走】。



圖八



圖九

- (3) 五個大透明塑膠袋內分別懸掛紅、黃、綠、藍、紫色等透光度相同的 300c.c.清水袋。
- (4) 一分鐘後，觀察停留在荔枝上的蒼蠅數(如圖七)。
- (5) 重複相同實驗 5 次，並紀錄下來。

(二) 實驗二：利用不同顏色的光線照射複眼模型，找出視網膜光點偏移(光敏感度)最大的色光。

1. 實驗方法：

以物理光學的分析方式，探討不同色光在視網膜屏幕上的偏異情形。若光點的偏異距離越大，則表示該種色光對於視覺的感受越為敏感。【註：我們可以從光學的角度，觀察屏幕影像的位置與原焦點位置的偏移情況】

2. 實驗步驟：

- (1) 將事先做好的「2×2 複眼模型」以支架固定好，以避免實驗過程中因些微的晃動而影響了實驗的準確度，如圖十所示。
- (2) 於暗室中，將雷射筆以不同的角度分別照射複眼裝置上的每個小眼(小眼以透明水袋製作，且透光度相同)，前後移動視網膜屏幕，找出屏幕上光點最小處為每個小眼的「成像焦點(共有四點)」如圖十一。



圖十

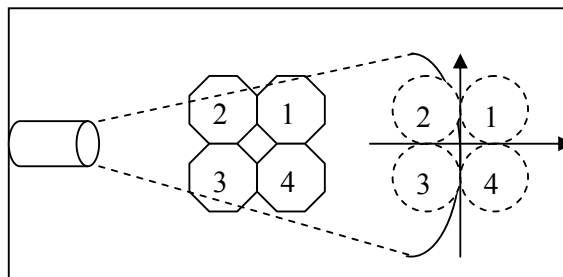


圖十一

- (3) 用奇異筆記下成像焦點的位置，並固定複眼結構與屏幕的距離(即固定成像焦距)。
- (4) 將光源、複眼結構、視網膜屏幕三者精確地調整於同一直線上，如圖十二所示。



圖十二



圖十三

- (5) 在光源處以高亮度手電筒搭配不同顏色的玻璃紙照射複眼模型，並於屏幕上以奇異筆記錄四個光點的中心位置；測量完後，取下布幕，如圖十三。
- (6) 以布幕的中心點為原點，設置(x、y)座標系，找出各種色光打出來的四個光點與成

像焦點的差異，並以表格紀錄。

- (三) 綜合比較：從實驗一與實驗二中，我們可以分別從「生物的習性」與「物理的分析」做綜合性的比對，綜觀兩種分析的結果有何微妙的關係。

二、實驗三：不同曲度的昆蟲複眼模型對光的敏感度

(一) 實驗方法：

以物理光學的分析方式，探討不同曲度的昆蟲複眼在視網膜屏幕上的偏異情形。在此，我們選用實驗一、二中所得到的最敏感色光當作光源；同理，若光點的偏異距離有變化，則表示不同曲度的昆蟲複眼的確會對色光有不同的敏感度。

(二) 實驗步驟：

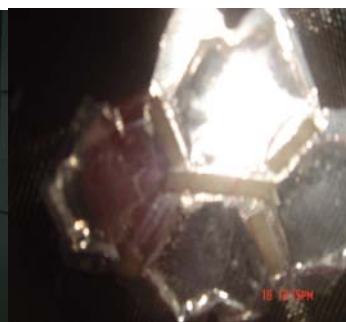
1. 以市售兩種不同曲度的鐵網製作複眼模型，分別貼上 2x2 的水袋。【註：較凸的鐵網(圖十四)直徑 17.5 cm、最大突出 6.5 cm；較平的鐵網(圖十五)直徑 24 cm、最大突出 3 cm】
2. 與實驗二的步驟相仿，用高亮度手電筒搭配實驗二中最敏感的色光照射，比較兩種不同曲度的複眼模型所「照射出的四個光點」與「原先個自四個雷射焦點」的偏異(圖十六)，並用新的布幕做紀錄，製表紀錄下來。



圖十四



圖十五



圖十六

三、實驗四：不同數量的昆蟲複眼模型對光的敏感度

(一) 實驗方法：

以物理光學的分析方式，探討不同數量的昆蟲複眼在視網膜屏幕上的偏異情形。在此，我們選用實驗三中得到較為敏感的曲度鐵網為基準，並配合實驗一、二中所得到的最敏感色光當作光源。與實驗三的道理相似，若光點的偏異距離有變化，則表示不同數量的昆蟲複眼的確會對色光有不同的敏感度。



圖十七



圖十八

(二) 實驗步驟：

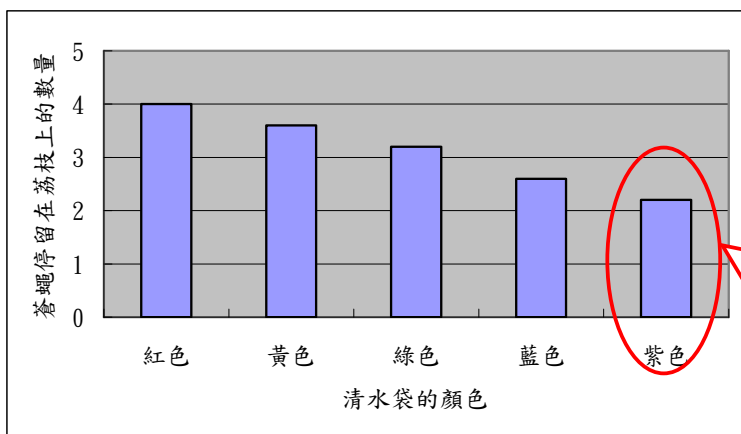
1. 從實驗三中選出對光敏感度較大的複眼模型鐵網，於其上陸續貼上 2x2、3x3 的水袋(如圖十七、圖十八所示)。【註：每個水袋的大小均一致】
2. 與實驗二的步驟相仿，用高亮度手電筒搭配實驗二中最敏感的色光照射，比較三種不同數量的複眼模型所「照射出的光點」與「原先個自雷射焦點」的偏異，然後再用新的布幕做紀錄，製表紀錄下來。

伍、研究結果：

一、不同顏色色光對昆蟲複眼的敏感度：

(一) 實驗一：找出影響昆蟲視覺最敏感的水袋顏色

荔枝 停留 蒼蠅 數量	實驗次數		一	二	三	四	五	平均
	不同 顏色的 清水袋	紅色	4	4	3	4	5	4
		黃色	3	4	3	4	4	3.6
		綠色	3	3	4	3	3	3.2
		藍色	3	2	2	4	2	2.6
		紫色	2	3	2	2	2	2.2(最少)



使用紫色清水袋時，蒼蠅停留在荔枝上的數量最少，即紫光對蒼蠅的干擾最大。換句話說：紫光對蒼蠅視覺的敏感度最大。

(二) 實驗二：利用不同顏色的光線照射複眼模型，找出光敏感度最大的色光。

1. 紀錄 1 號小眼的成像位置：

色光	1 號位置	X 方向差(Δx)	Y 方向差(Δy)	位移($\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$)
雷射筆	(1.9, 1.4)	基準		
紅光	(1.7, 0.8)	-0.2	-0.6	0.63
黃光	(1.9, 0.8)	0	-0.6	0.6
綠光	(1.9, 0.9)	0	-0.5	0.5
藍光	(1.6, 0.8)	-0.3	-0.6	0.67
紫光	(2.4, 1.0)	0.5	-0.4	0.64

2.紀錄 2 號小眼的成像位置：

色光	2 號位置	X 方向差(Δx)	Y 方向差(Δy)	位移($\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$)
雷射筆	(-5.0, 0.4)	基準		
紅光	(-5.2, 0.6)	-0.2	0.2	0.28
黃光	(-5.4, 0.5)	-0.4	0.1	0.41
綠光	(-5.3, 0.4)	-0.3	0	0.3
藍光	(-5.5, 0.4)	-0.5	0	0.5
紫光	(-5.4, 1.0)	-0.4	-0.6	0.72

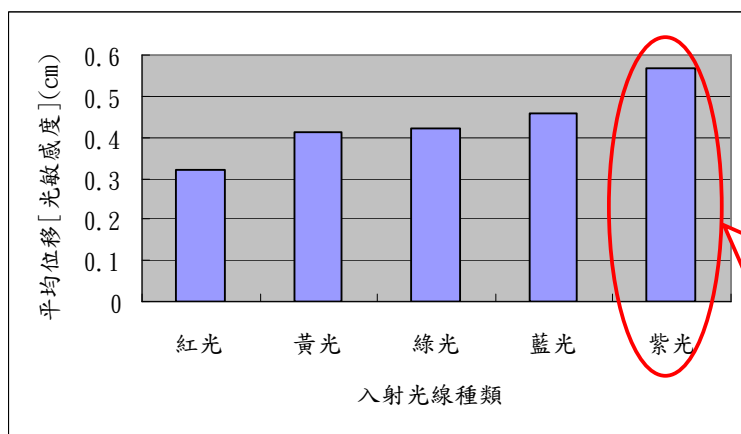
3.紀錄 3 號小眼的成像位置：

色光	3 號位置	X 方向差(Δx)	Y 方向差(Δy)	位移($\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$)
雷射筆	(-1.8, -1.5)	基準		
紅光	(-1.6, -1.3)	0.2	0.2	0.28
黃光	(-1.5, -1.4)	0.3	0.1	0.32
綠光	(-1.3, -1.6)	0.5	-0.1	0.51
藍光	(-1.5, -1.7)	0.3	-0.2	0.36
紫光	(-2.3, -2.0)	-0.5	-0.5	0.71

4.紀錄 4 號小眼的成像位置：

色光	4 號位置	X 方向差(Δx)	Y 方向差(Δy)	位移($\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$)
雷射筆	(2.0, -2.9)	基準		
紅光	(1.9, -2.9)	-0.1	0	0.1
黃光	(1.7, -2.9)	-0.3	0	0.3
綠光	(1.7, -3.1)	-0.3	0.2	0.36
藍光	(1.9, -3.2)	-0.1	0.3	0.32
紫光	(2.0, -2.7)	0	0.2	0.2

5.不同色光對四顆小眼的平均位移：



使用紫光照射昆蟲複眼模型時，視網膜屏幕的平均位移量最大。換句話說：紫光對蒼蠅視覺的敏感度最大。

紅光平均位移	黃光平均位移	綠光平均位移	藍光平均位移	紫光平均位移
0.32	0.41	0.42	0.46	0.57(最大)

二、實驗三：不同曲度的昆蟲複眼模型對光的敏感度

(一) 較凸的複眼模型：

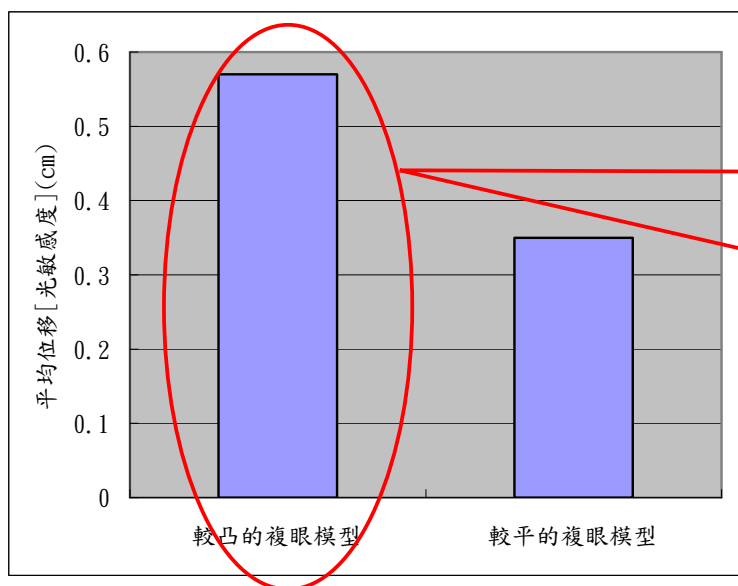
小眼位置	1 號位置	2 號位置	3 號位置	4 號位置
雷射光點位置	(1.9, 1.4)	(-5.0, 0.4)	(-1.8, -1.5)	(2.0, -2.9)
紫光光點位置	(2.4, 1.0)	(-5.4, 1.0)	(-2.3, -2.0)	(2.0, -2.7)
位移	0.64	0.72	0.71	0.2

(二) 較平的複眼模型：

小眼位置	1 號位置	2 號位置	3 號位置	4 號位置
雷射光點位置	(0.6, 0.4)	(-3.9, 1.1)	(-1.3, -3.2)	(2.2, -5.5)
紫光光點位置	(0.6, 0.4)	(-3.7, 0.9)	(-1.4, -3.7)	(2.8, -5.6)
位移	0	0.3	0.5	0.6

(三) 綜合比較：

曲度	較凸的複眼模型	較平的複眼模型
平均位移	0.57(敏感度較大)	0.35



三、實驗四：不同數量的昆蟲複眼模型對光的敏感度

(一) 2x2 小眼的複眼模型：

小眼位置	1	2	3	4
雷射光點位置	(1.9, 1.4)	(-5.0, 0.4)	(-1.8, -1.5)	(2.0, -2.9)
紫光光點位置	(2.4, 1.0)	(-5.4, 1.0)	(-2.3, -2.0)	(2.0, -2.7)
位移	0.64	0.72	0.71	0.2

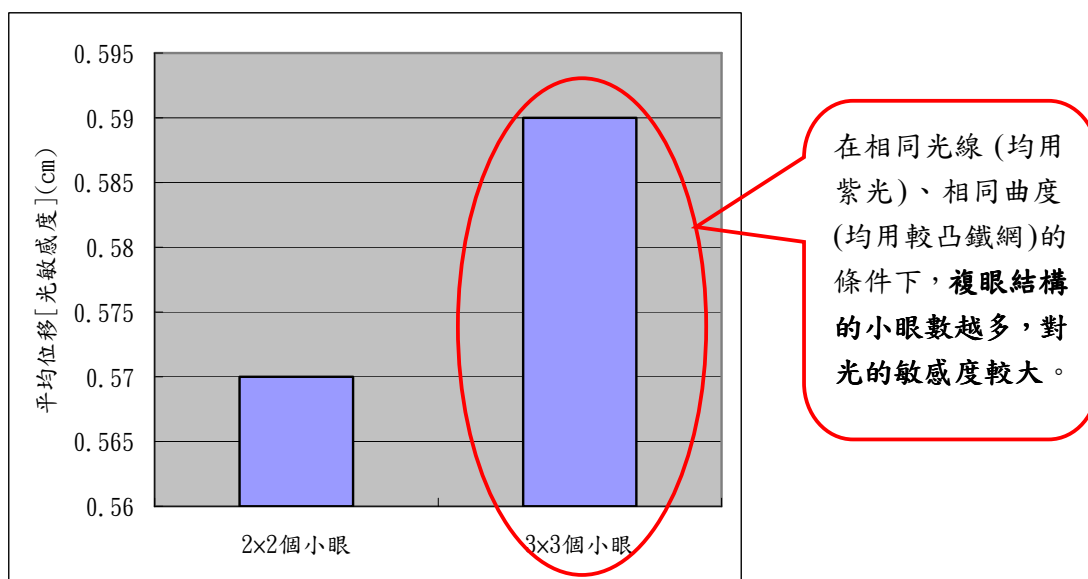
(二) 3×3 小眼的複眼模型：

小眼位置	1	2	3	4	5
雷射光位置	(-2.7, 6.4)	(-4.8, 3.4)	(2.2, 2.4)	(-5.4, 0.1)	(-0.7, -0.8)
紫光光位置	(-2.1, 6.2)	(-3.8, 3.1)	(2.4, 2.4)	(-5.0, 0.2)	(-0.4, -1.2)
位移	0.63	1.04	0.2	0.41	0.5

小眼位置	6	7	8	9	
雷射光位置	(4.0, -0.6)	(-2.8, -3.2)	(2.0, -4.7)	(-0.7, -6.1)	
紫光光位置	(5.0, -0.2)	(-2.9, -3.7)	(2.3, -4.4)	(-0.7, -6.6)	
位移	1.08	0.51	0.42	0.5	

(三) 綜合比較：

小眼數量	2×2	3×3
平均位移	0.57	0.59(敏感度較大)



陸、討論：

一、從實驗一中，我們可以討論得到：

- (一) 使用紫色清水袋時，蒼蠅停留在荔枝上的數量最少，即紫光對蒼蠅的干擾最大。
- (二) 使用清水袋時，波長長的色光干擾小(如紅光)，而波長短的色光干擾大(如紫光)。
- (三) 從生物的叢書中得知：「一般昆蟲不能感受紅色」，此說法與本實驗不謀而合。
- (四) 紫光對蒼蠅視覺的敏感度最大。

二、從實驗二中，我們可以討論得到：

- (一) 使用紫光照射昆蟲複眼模型時，視網膜屏幕的平均位移量最大。
- (二) 本實驗與實驗一的結果一致，均可證明「一般昆蟲不能感受紅色」的說法。
- (三) 再次證實，紫光對蒼蠅視覺的敏感度最大。

三、從實驗三中，我們可以討論得到：

- (一) 本實驗接續實驗一與實驗二，使用「紫光」對複眼模型做進一步的敏感性分析。
- (二) 在相同小眼數(均為 2x2 複眼)的條件下，**複眼結構較凸的模型，對光的敏感度較大。**
- (三) 從生物的叢書中得知：「蒼蠅的凸眼程度比蜜蜂大，可知覺到的色光也比蜜蜂來的多。」此說法與本實驗的結果亦有相輔相成的效果。【註：蜜蜂不能區辨橙紅色】

四、從實驗四中，我們可以討論得到：

- (一) 本實驗接續實驗三，使用「紫光」、「凸眼結構」對複眼模型做更深一層的分析。
- (二) 在相同曲度(均用較凸鐵網)的條件下，**複眼結構的小眼數越多，對光的敏感度較大。**
- (三) 從生物的叢書中得知：「構成複眼的小眼的數量越多代表其視覺愈敏銳。」此說法與本實驗的結果完全相符。

五、綜合討論：

- (一) 就外界光線而言，紫光對昆蟲複眼來說最為敏感。
- (二) 昆蟲複眼的構造只要是越凸出、小眼數越多的，對光線的敏感度則越大。

柒、結論：

本研究最成功的地方在於：利用『物理光學分析的方式』證實了『生命科學中昆蟲複眼的視覺感受』。或許在昆蟲複眼模型的設計上仍有許多待改進的地方，但大夥們畢竟也卯足了勁，試圖做到最周全的分析結果，至於最後的研究結果則簡述如下－

從實驗一、實驗二的結果可知：若將不同顏色的色光照射到昆蟲複眼後，各色光成像偏移程度之大小為「紫光＞藍光＞綠光＞黃光＞紅光」意即昆蟲複眼的視覺對紫光較為敏感。而在實驗三中使用高亮度手電筒搭配紫色玻璃紙，照射不同曲度的昆蟲複眼模型後(控制小眼數均為 2x2 個)，結果發現，「較凸的昆蟲複眼結構比較平的昆蟲複眼結構來得敏感」最後，在實驗四中以高亮度手電筒搭配紫色玻璃紙照射相同曲度但不同小眼數的昆蟲複眼模型後，結果發現，「小眼數目較多的昆蟲複眼結構比小眼數目較少的複眼結構來得敏感」。

捌、參考資料及其他：

一、網路資料：

- (一) <http://www.ck.tp.edu.tw/online/teenager/106/animals.html>。
- (二) <http://www.nhctc.edu.tw/~shuh/w4/insetca.htm>。
- (三) <http://tw.knowledge.yahoo.com/question/?qid=1005040904471>。
- (四) http://www.kepu.net.cn/gb/lives/insect/abc/abc301_01.html。
- (五) <http://www01.fengniao.com/forum/showthread.php?s=91d6d233293aeef9cbc446d7bfd9c1f9&threadid=63756>。

二、書籍資料：

- (一) 高中基礎物理課本－光學篇。
- (二) 科學大辭典與科學圖書大庫。
- (三) 現代科技大百科－生命科學篇。

三、幕後花絮：



評語

040107 昆蟲複眼對光敏感度之光學分析

能針對跨領域部份拓展研究範圍屬難能可貴，唯部份研究之推論恐未盡踏實，如：影響蒼蠅之光為紫光，是頻率或折射之影響並未分辨，另有關複眼之物理研究太粗糙，宜多用物理定律作較精確之實驗與量測。