

中華民國第 51 屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 生物(生命科學)科

040710

飛蝶視件

—探討雄大白斑蝶之視覺與辨識的行為

學校名稱：國立新竹女子高級中學

作者： 高二 陳薇安	指導老師： 張淳瑋 廖美齡
---------------	---------------------

關鍵詞：大白斑蝶、辨識、視覺行為

摘要

視覺是動物辨識同伴時所運用的重要感官。然而，在自然光照下，人類無法由翅膀外觀來分辨大白斑蝶成蟲的性別。於是我們設計一系列的實驗來探討雄大白斑蝶之視覺與辨識同種雌蝶的行為。結果發現雄大白斑蝶可以看見亮度很低的光源，且對於 UVA 紫外光有明顯的偏好。當我們隔絕同種雌蝶標本的氣味時，雄蝶仍可以利用視覺辨識出雌蝶；但若將隔絕氣味之雌蝶標本放置於無光線的位置時，雄蝶便無法辨識。除此之外，在不同波長光源之間，雄大白斑蝶對於 UVA 紫外光照射下之雌蝶最為偏好；且在 UVA 紫外光的照射下，雌雄大白斑蝶所反射出的光線不同。本研究顯示視覺是雄大白斑蝶在近距離辨識同種雌蝶時所運用的重要感官，而 UVA 紫外光則是其所利用的光波。

壹、 研究動機

台灣身為「蝴蝶王國」，在天氣晴朗時，常可以在戶外發現不少翩翩起舞的蝴蝶，顏色繽紛，在陽光下互相追逐、求偶，這使我們想起高一生物課本中曾提到，可繁殖後代且後代具生殖能力的生物為同一物種。為了使物種生生不息，雄蝶究竟如何在眾多彩蝶與花朵中辨認出同種雌蝶呢？有文獻（洪清坤，2007）指出，在近距離時，視覺是蝴蝶辨認彼此所利用的感官之一。但是在觀察大白斑蝶(*Idea leuconoe clara*)後發現，大白斑蝶的雌雄成蝶外觀幾乎毫無差異。查閱圖鑑（徐琦峰，1999）後也發現，除了生殖器外，無法由外表辨認大白斑蝶的性別；又發現大白斑蝶有為數不少外表極為相近的相似種，如姬小紋青斑蝶(*Parantica aglea maghaba*)。這令我們十分好奇，究竟雄大白斑蝶如何尋找雌大白斑蝶呢？又如何分辨其同種雄蝶或其他相似種蝴蝶呢？另外，由於昆蟲複眼可以看見人類所無法看見的 UVA 波段光波（數位典藏與數位學習國家型科技計畫成果入口網），令我們聯想到，或許雄蝶可以利用 UVA 紫外光來分辨雌蝶，而這可能就是人類無法分辨大白斑蝶的性別，但雄大白斑蝶卻可以輕易辦到的原因。於是我們設計了一連串的實驗，藉以探討雄大白斑蝶對不同光源的偏好、面對同種及異種蝴蝶時的行為，以及雌雄大白斑蝶在 UVA 紫外光照射下之外觀差異。

貳、 研究目的

- 一、 探討雄大白斑蝶面對不同亮度光源的行為
- 二、 探討雄大白斑蝶面對不同波長光源的行為
- 三、 探討雄大白斑蝶面對同種及異種蝴蝶的行為
- 四、 探討雄大白斑蝶在同種雄蝶及雌蝶之間的選擇
- 五、 探討雄大白斑蝶在不同波長光源及同種雌蝶之間的選擇
- 六、 探討雄大白斑蝶面對不同波長光源照射之同種蝴蝶的行為
- 七、 觀察雌雄大白斑蝶在 UVA 紫外光照射下之外觀差異

參、 研究設備及器材

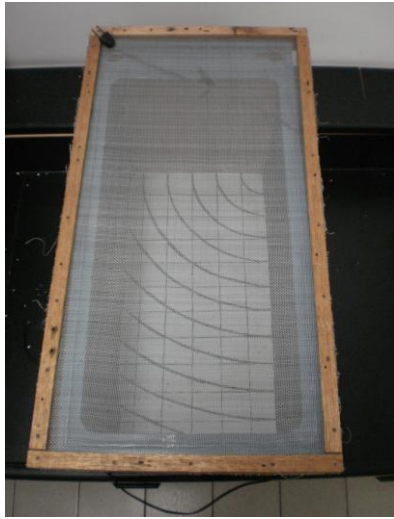
一、 大白斑蝶與姬小紋青斑蝶的基本認識

大白斑蝶(*Idea leuconoe clara*)在分類上屬昆蟲綱(Class Insecta)→鱗翅目(Order Lepidoptera)→斑蝶科(Danainae)，成蟲體長約 65-72 mm，展翅寬約 110-125 mm。翅膀底色為白色，翅脈為黑色，翅面散生大小不一的黑色斑點，雌蝶與雄蝶外觀相似，無明顯性別特徵（如圖三及圖四）。大白斑蝶為臺灣產斑蝶中體型最大的一種，分布於墾丁、恆春、蘭嶼、東北角海濱及綠島，其繁殖地一般是海岸邊樹林中的空地或荒地，飛行緩慢，又稱大笨蝶。幼蟲的食草為夾竹桃科的爬藤，生長在海岸附近的叢林內，其蛹除了懸掛在藤蔓上外，還會附著於食草附近的其他植物上。

姬小紋青斑蝶(*Parantica aglea maghaba*)亦屬於昆蟲綱→鱗翅目→斑蝶科，展翅寬約 65-75 mm。翅膀為黑褐色，具青色條狀斑紋，外緣散布淡青色斑，雌雄蝶外觀相似，但雄蝶後翅腹面具有暗褐色性標（如圖五及圖六）。普遍分布於低中海拔山區，飛行緩慢，活動於林緣或林蔭下，喜於花叢附近活動，也可見成蟲於潮濕積水地面吸水。幼蟲食草為蘿藦科的歐蔓、牛皮消、布朗藤。

二、 器材

材料	數量
雄大白斑蝶(<i>Idea leuconoe clara</i>)	數隻
自製蝴蝶行為觀察箱，如圖一	1 個
可調整亮度之 LED 蛇燈(白光)，如圖二	1 台
紅光 LED 燈泡	1 個
藍光 LED 燈泡	1 個
黃光 LED 燈泡	1 個
綠光 LED 燈泡	1 個
UVA 紫外光燈泡	2 個
雌大白斑蝶(<i>Idea leuconoe clara</i>)標本，如圖三	1 個
雄大白斑蝶(<i>Idea leuconoe clara</i>)標本，如圖四	1 個
雌姬小紋青斑蝶(<i>Parantica aglea maghaba</i>)標本，如圖五	1 個
雄姬小紋青斑蝶(<i>Parantica aglea maghaba</i>)標本，如圖六	1 個
密封保鮮袋	數個
UVA 黑燈管	一支
Canon 550D 單眼相機	一台
腳架	一個



圖一：自製蝴蝶行為觀察箱俯視圖



圖二：可調整亮度之 LED 蛇燈 (白光)



圖三：雌大白斑蝶標本



圖四：雄大白斑蝶標本



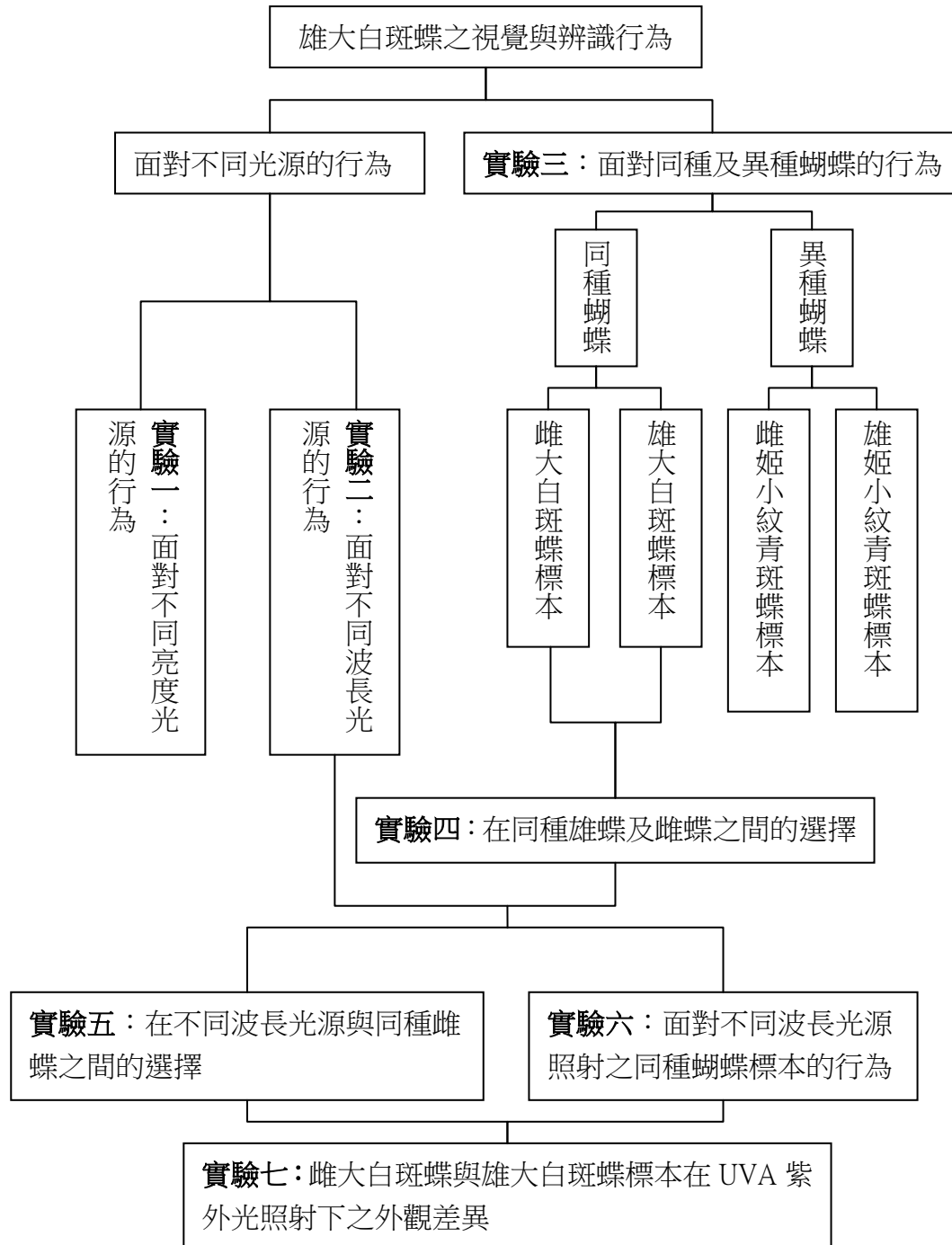
圖五：雌姬小紋青斑蝶標本
(蝶-圖像式檢索)



圖六：雄姬小紋青斑蝶標本

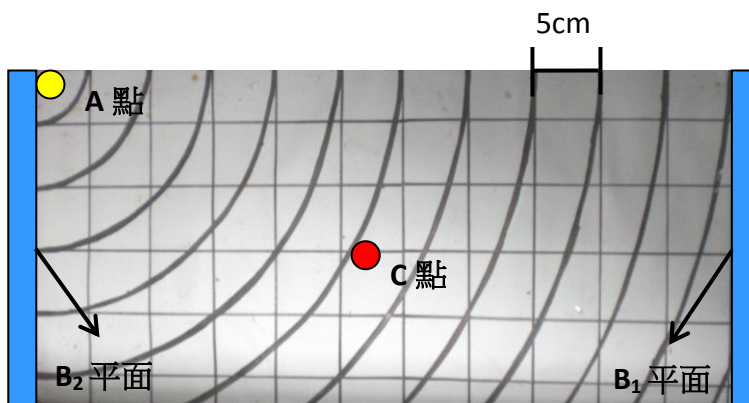
肆、 研究過程或方法

一、 實驗架構



二、 實驗裝置：自製蝴蝶行為觀察箱之內部構造

圖七為行為觀察箱之內部構造，其中實驗一、二、五之光源置於 A 點；實驗三、四、五、六之標本置於 B_1 平面；實驗四之另一標本置於 B_2 平面；而 C 點為起點，與 A 點及 B_1 、 B_2 平面均距離約 30 公分。另外，圖中弧線兩兩相隔 5 公分，用以紀錄蝴蝶與光源之水平距離，第一條弧線內記為 5 公分，第二條內記為 10 公分，依此類推；平行 B_1 及 B_2 平面的直線亦兩兩相隔 5 公分，用以記錄蝴蝶與標本之距離，紀錄方法與弧線相同。



圖七：行為觀察箱內部構造圖

三、 實驗方法

(一) 實驗一：探討雄大白斑蝶面對不同亮度光源的行為

1. 於暗室中，將可調整亮度之 LED 蛇燈固定於行為觀察箱中 A 點，並將亮度調整為 1 lux，如圖八。
2. 將蝴蝶放置於行為觀察箱中，等待 5 分鐘，使其適應環境。
3. 將蝴蝶放置於行為觀察箱中 C 點，並開始計時。
4. 每隔 30 秒紀錄一次蝴蝶與光源的水平距離，實驗時間總長 3 分鐘，每隻蝴蝶計 3 次，共操作 6 隻蝴蝶。
5. 分別改變亮度為 5 lux 及 9 lux，重複步驟 2~4。



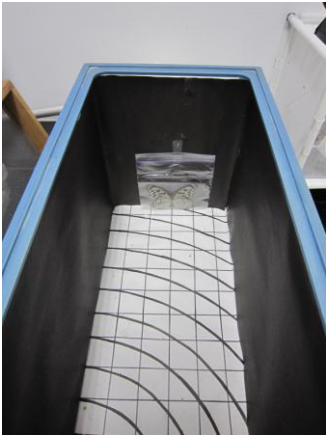
圖八：LED 蛇燈固定於行為觀察箱中 A 點之裝置圖

(二) 實驗二：探討雄大白斑蝶面對不同波長光源的行為

1. 於暗室中，將紅光 LED 燈泡固定於行為觀察箱中 A 點。
2. 將蝴蝶放置於行為觀察箱中，等待 5 分鐘，使其適應環境。
3. 將蝴蝶放置於行為觀察箱中 C 點，並開始計時。
4. 每隔 30 秒紀錄一次蝴蝶與光源的水平距離，實驗時間總長 3 分鐘，每隻蝴蝶計 3 次，共操作 6 隻蝴蝶。
5. 將紅光 LED 燈泡分別換置為藍光、黃光、綠光 LED 燈泡及 UVA 紫外光燈泡，重複步驟 2~4。

(三) 實驗三：探討雄大白斑蝶面對同種及異種蝴蝶的行為

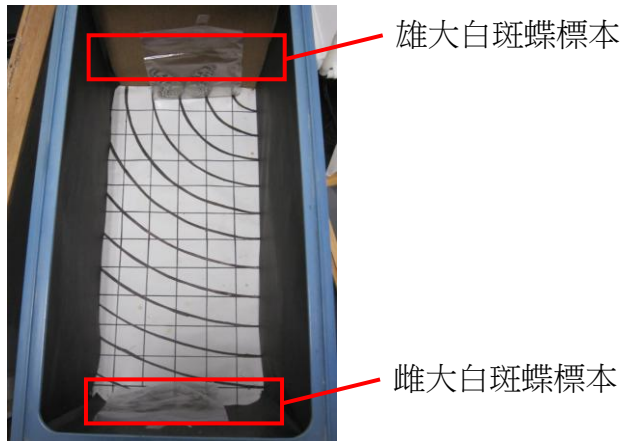
1. 於自然室內光照下，將雌大白斑蝶標本放入透明密封袋內以隔絕氣味，並固定於行為觀察箱中 B_1 平面，如圖九。
2. 將蝴蝶放置於行為觀察箱中，等待 5 分鐘，使其適應環境。
3. 將蝴蝶放置於行為觀察箱中 C 點，並開始計時。
4. 每隔 30 秒紀錄一次蝴蝶與標本的距離，實驗時間總長 3 分鐘，每隻蝴蝶計 3 次，共操作 6 隻蝴蝶。
5. 將雌大白斑蝶標本分別換置為雄大白斑蝶、雌姬小紋青斑蝶及雄姬小紋青斑蝶標本，重複步驟 2~4。



圖九：雌大白斑蝶標本固定於行為觀察箱中 B_1 平面之裝置圖

(四) 實驗四：探討雄大白斑蝶在同種雄蝶及雌蝶之間的選擇

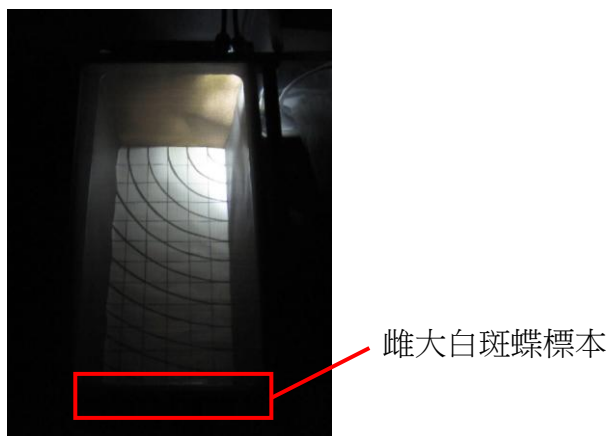
1. 於自然室內光照下，將雌雄大白斑蝶標本分別放入透明密封袋內以隔絕氣味，並將雌大白斑蝶標本固定於行為觀察箱中 B_1 平面，將雄大白斑蝶標本固定於 B_2 平面，如圖十。
2. 將蝴蝶放置於行為觀察箱中，等待 5 分鐘，使其適應環境。
3. 將蝴蝶放置於行為觀察箱中 C 點。
4. 紀錄雄蝶選擇（接近並觸及）何標本，每隻蝴蝶紀錄 3 次，共操作 6 隻蝴蝶。
5. 於暗室中，分別在雌雄大白斑蝶標本上方固定 UVA 紫外光燈泡，使其向下照射標本，重複步驟 2~4。



圖十：雌雄大白斑蝶標本分別固定於行為觀察箱中 B_1 平面與 B_2 平面之裝置圖

(五) 實驗五：探討雄大白斑蝶在不同波長光源及同種雌蝶之間的選擇

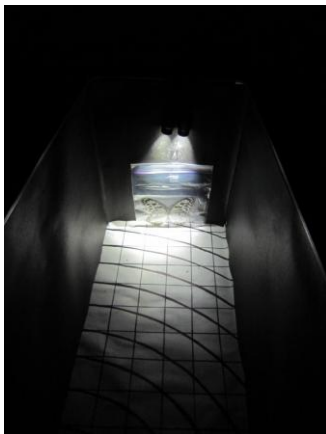
1. 於暗室中，將 LED 蛇燈亮度調整為 5 lux，並固定於行為觀察箱中 A 點，再將雌大白斑蝶標本放入透明密封袋內，固定於行為觀察箱 B_1 平面，如圖十一。
2. 將蝴蝶放置於行為觀察箱中，等待 5 分鐘，使其適應環境。
3. 將蝴蝶放置於行為觀察箱中 C 點，並開始計時。
4. 每隔 30 秒紀錄分別記錄蝴蝶與光源的水平距離，實驗時間總長 3 分鐘，每隻蝴蝶計 3 次，共操作 6 隻蝴蝶。
5. 將 LED 蛇燈分別換置為紅光、藍光、黃光、綠光 LED 燈泡及 UVA 紫外光燈泡，重複步驟 2~4。



圖十一：5 lux 之 LED 蛇燈固定於行為觀察箱中 A 點，雌大白斑蝶標本固定於行為觀察箱 B_1 平面之裝置圖

(六) 實驗六：探討雄大白斑蝶面對不同波長光源照射之同種蝴蝶的行為

1. 於暗室中，將雌大白斑蝶標本放入透明密封袋內，固定於行為觀察箱中 B_1 平面，再將 LED 蛇燈亮度調整為 5 lux，固定在標本上方，向下照射標本，如圖十二。
2. 將蝴蝶放置於行為觀察箱中，等待 5 分鐘，使其適應環境。
3. 將蝴蝶放置於行為觀察箱中 C 點，並開始計時。
4. 每隔 30 秒紀錄一次蝴蝶與標本的距離，以及雄蝶由 C 點開始至觸及 B_1 平面時所需的時間，實驗時間總長 3 分鐘，每隻蝴蝶計 3 次，共操作 6 隻蝴蝶。
5. 將 LED 蛇燈分別置換為紅光、藍光、黃光、綠光 LED 燈泡及 UVA 紫外光燈泡，重複步驟 2~4。
6. 將雌大白斑蝶標本換置為雄大白斑蝶標本，並使用 UVA 紫外光燈泡，重複步驟 2~4。



圖十二：5 lux 之 LED 蛇燈照射雌大白斑蝶標本之裝置圖

(七) 觀察雌雄大白斑蝶在 UVA 紫外光照射下之外觀差異

1. 於暗室中，以 UVA 黑燈管均勻照射雌雄大白斑蝶標本。
2. 以 Canon 550D 單眼相機由上方垂直拍攝 UVA 照射下之標本。
3. 使用 PhotoImpact 8 軟體，分析標本翅膀部分之顏色（明度及 RGB 值）。

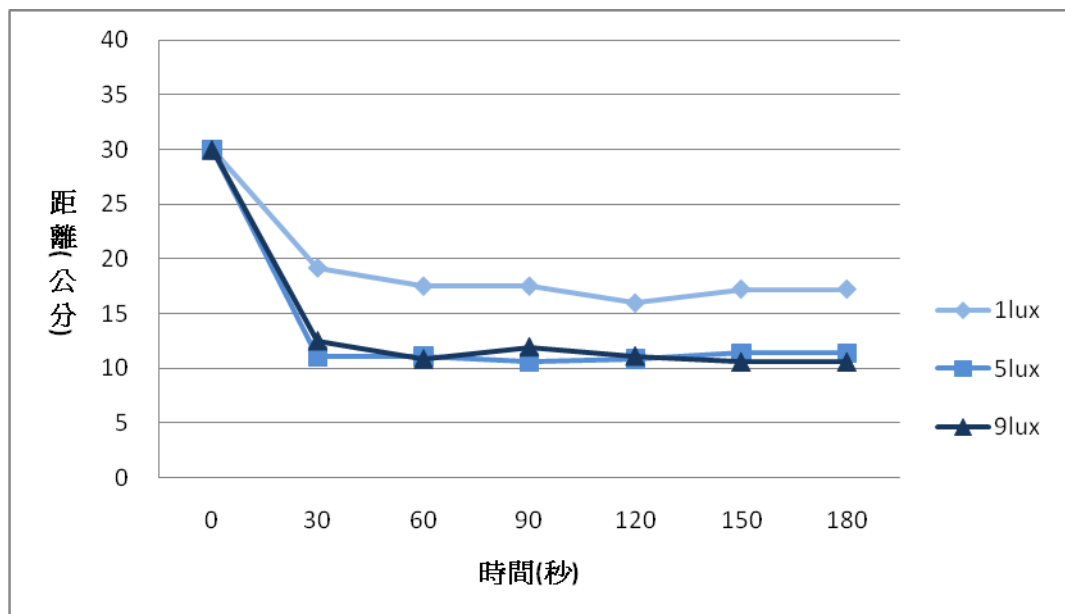
四、 統計分析

進行資料分析時，我們以單因子變異數分析(ANOVA, Analysis of Variation)來比較多組結果之間的差異，若多組之間具有顯著差異，則進一步使用 Tuckey HSD 進行多重比較。而繪製圖表時，以英文字母表示各組之間有無顯著差異，若不同組別之間沒有顯著差異，則以相同的字母標示之；若不同組別完全不具有相同的英文字母，則表示兩者具有顯著差異。

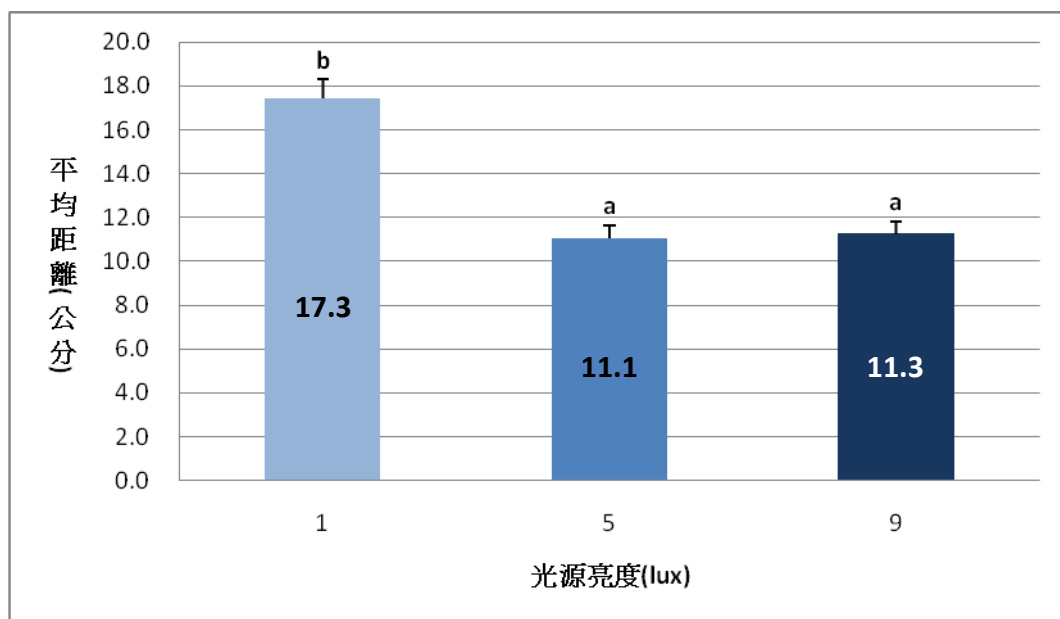
伍、 研究結果

(一) 實驗一：探討雄大白斑蝶面對不同亮度光源的行為

由圖十三可看出，雄蝶皆由起點朝光源方向接近光源，且由圖十四可知，雄蝶在 1 lux 光源下，與光源的距離明顯較 5 lux 及 9 lux 時遠，皆具有顯著差異 ($p < 0.05$)，而其與 5 lux 及 9 lux 光源的距離之間則無顯著差異 ($p > 0.05$)；雄蝶與不同光源的平均距離由遠至近依序為：1 lux 光源 (17.3 公分) > 5 lux 光源 (11.1 公分) \approx 9 lux 光源 (11.3 公分)。這證明了即使在弱光下，雄蝶仍可以看見並趨近光源；當亮度在 5 lux 及 9 lux 時，雄蝶對光源的偏好程度則無顯著變化。



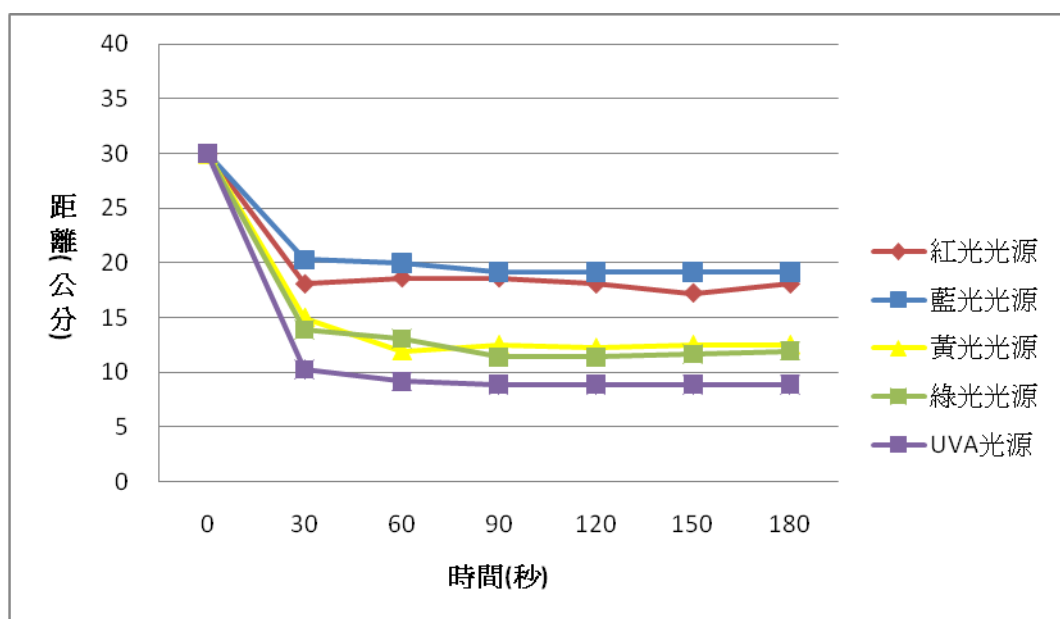
圖十三：雄大白斑蝶在不同時間與不同亮度光源的距離



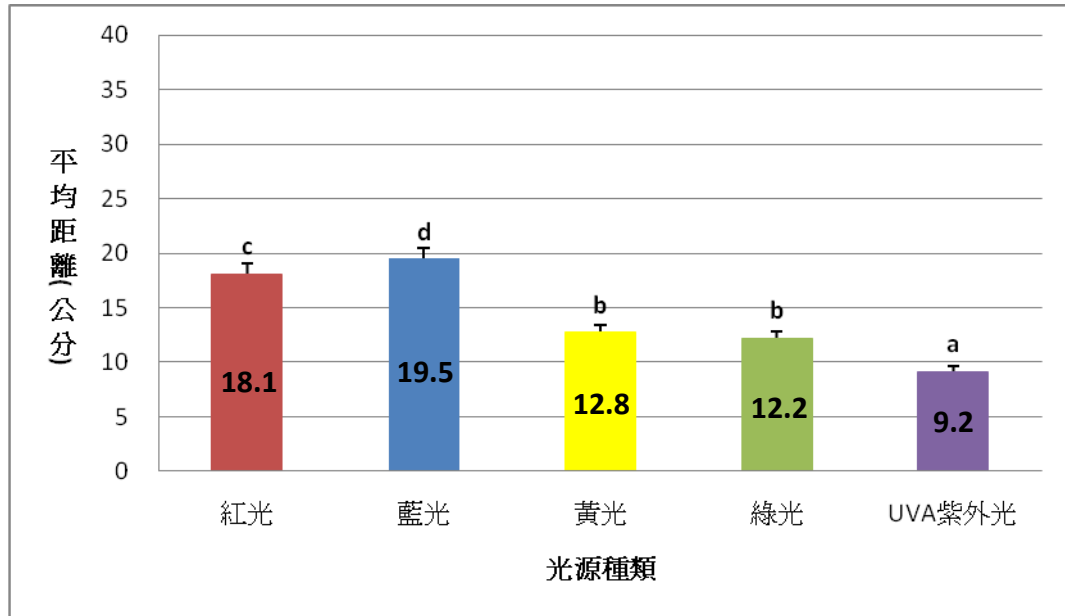
圖十四：雄大白斑蝶與不同亮度光源的平均距離

(二) 實驗二：探討雄大白斑蝶面對不同波長光源的行為

由圖十五可發現，雄大白斑蝶與各種光源距離皆小於 25 公分，表示有趨近的現象。而由圖十六可知，雄蝶與不同波長光源的平均距離由遠到近依序為：藍光光源（19.5 公分）>紅光光源（18.1 公分）>黃光光源（12.8 公分）≒綠光光源（12.2 公分）>UVA 光源（9.2 公分）；除了黃光與綠光外，其餘各組之間皆具有顯著差異（ $p < 0.05$ ）。這證實了雄大白斑蝶對 UVA 紫外光有最顯著的偏好。



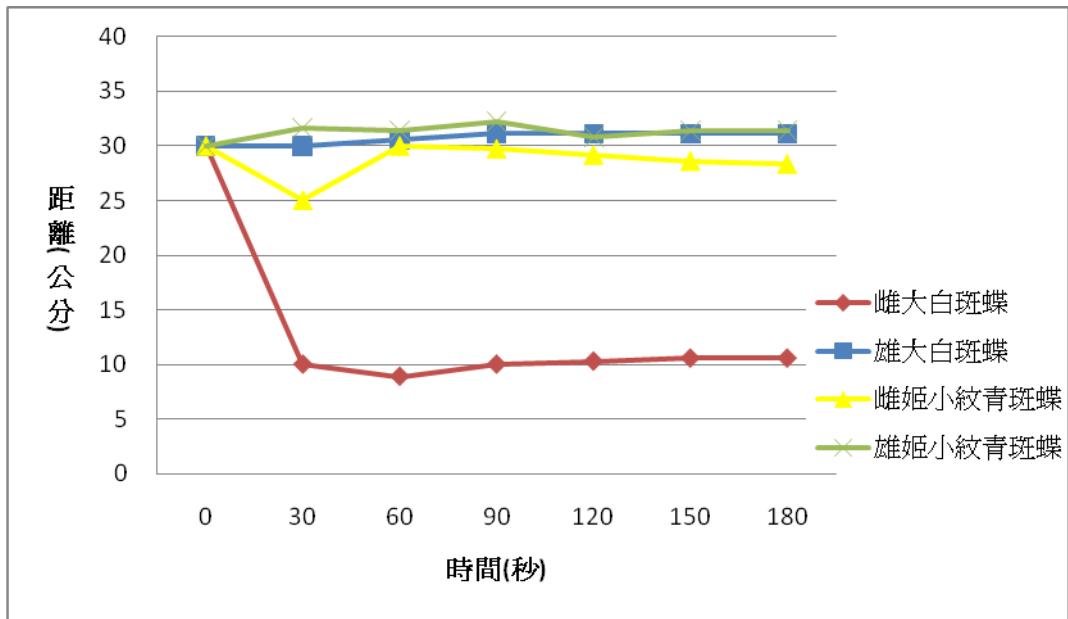
圖十五：雄大白斑蝶在不同時間與不同波長光源的距離



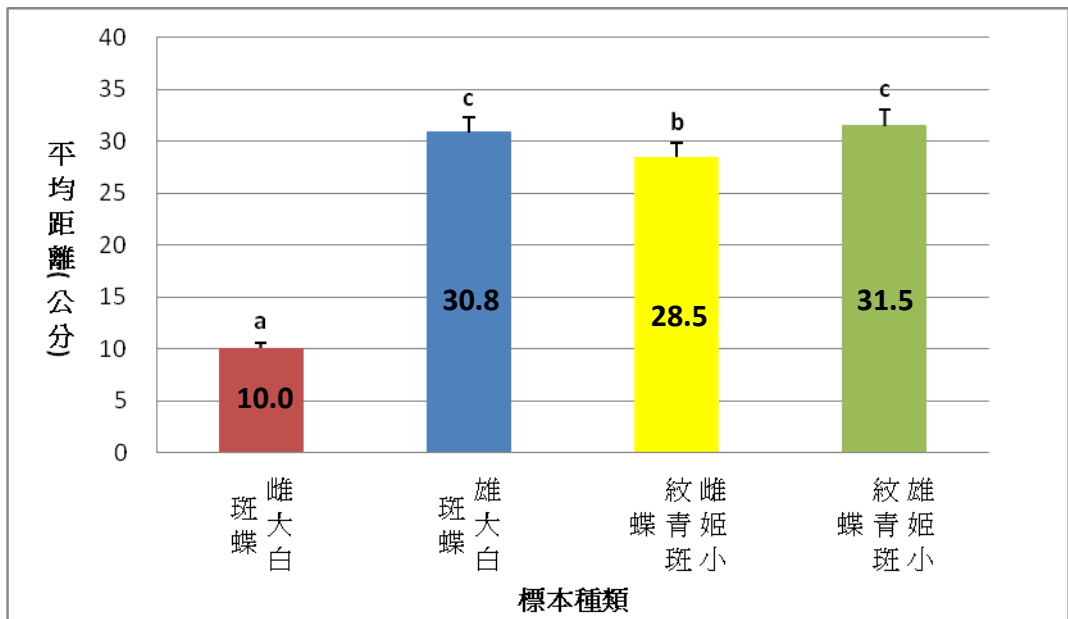
圖十六：雄大白斑蝶與不同波長光源的平均距離

(三) 實驗三：探討雄大白斑蝶面對同種及異種蝴蝶的行為

由圖十七可以發現，雄大白斑蝶只對於同種雌蝶標本有趨近的現象。另外，由圖十八可知，雄大白斑蝶與不同標本的平均距離由遠到近依序為：異種雄蝶(31.5公分) ≙ 同種雄蝶(30.8公分) > 異種雌蝶(28.5公分) >> 同種雌蝶(10.0公分)；雄大白斑蝶與同種雌蝶的距離明顯較其他標本接近，且與同種雄蝶、異種雌蝶，以及異種雄蝶的距離皆具有顯著差異 ($p < 0.05$)。由此可證明，**雄大白斑蝶確實可以藉由視覺辨認出雌大白斑蝶。**



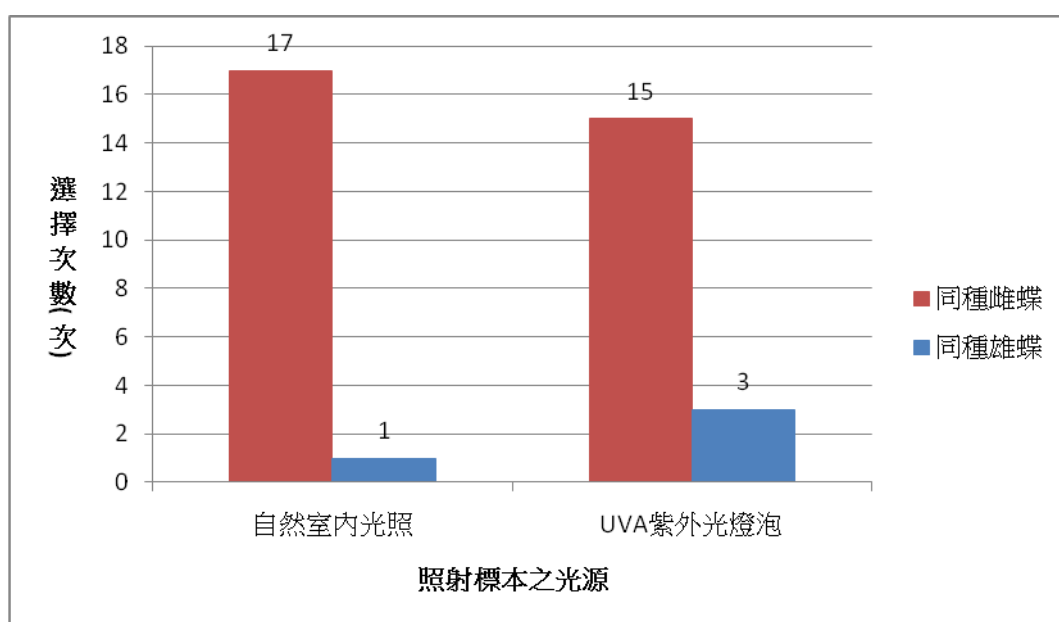
圖十七：雄大白斑蝶在不同時間與不同蝴蝶標本的距離



圖十八：雄大白斑蝶與不同蝴蝶標本的平均距離

(四) 實驗四：探討雄大白斑蝶在同種雄蝶及雌蝶之間的選擇

由圖十九可知，在自然室內光照下，雄大白斑蝶選擇（定義：接近並觸及標本）雌蝶的機率是 94.4%，遠高於選擇雄蝶的機率（5.6%）；而以 UVA 紫外光分別照射同種雌雄蝶時，雄大白斑蝶選擇雌蝶的機率是 83.3%，選擇雄蝶的機率為 16.7%。本實驗除了可再次證明，雄大白斑蝶具有利用視覺辨識同種雌蝶的能力之外，由於在自然光照下或 UVA 紫外光照下，雄大白斑蝶選擇雌蝶的機率皆高於 80%，尚無法確認雄大白斑蝶辨識同種雌蝶時所運用的是何種顏色之光波，故在後續實驗中，我們繼續比較雄大白斑蝶對不同光源照射之同種雌蝶的反應。

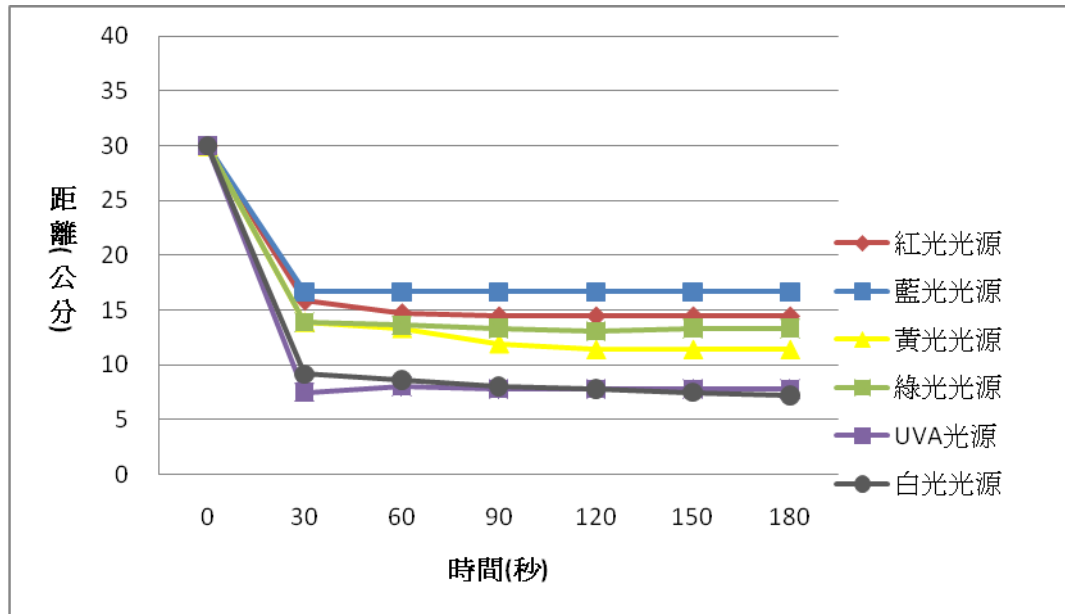


圖十九：不同光照下，雄大白斑蝶在同種雌蝶及同種雄蝶之間的選擇

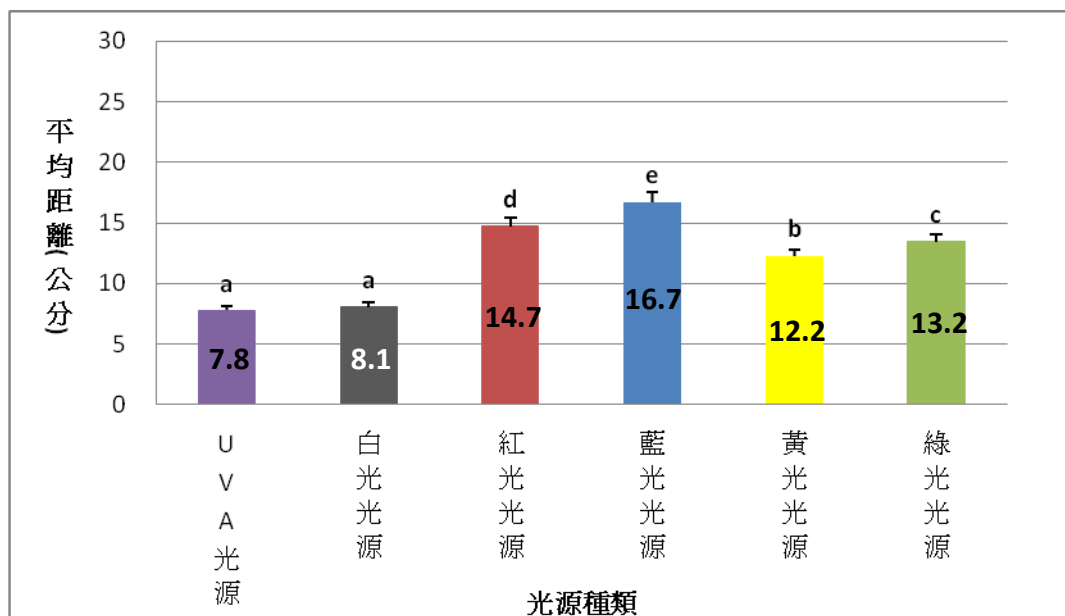
(五) 實驗五：探討雄大白斑蝶在不同波長光源及同種雌蝶之間的選擇

此實驗中，雄大白斑蝶必須在不同波長的光源與同種雌蝶標本中做選擇。由圖二十可以發現，雄蝶面對不同光源與雌蝶標本的選擇時，無論光源為何，皆有趨近光源的現象。換言之，雄蝶在光源與雌蝶標本中，皆選擇光源。另外，由圖二十一可知，雄蝶與不同波長光源的平均距離由遠到近依序為：藍光光源（16.7公分）>紅光光源（14.7公分）>綠光光源（13.2公分）>黃光光源（12.2公分）>白光光源（8.1公分）≈UVA 光源（7.8公分），這個順序與實驗二的結果相近，

但平均距離較實驗二稍近，我們推測這是由於個體差異的緣故。由此順序可見，放置於暗處的標本並不會影響雄大白斑蝶的行為，也就是說，當氣味被隔絕而且無光線時，雄大白斑蝶是無法辨識同種雌蝶的。



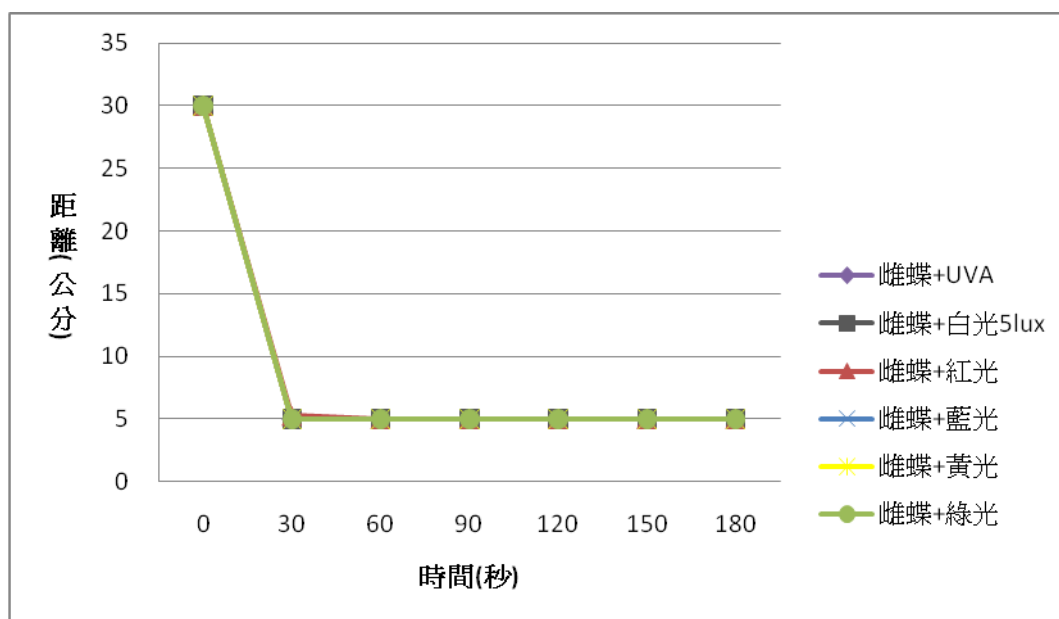
圖二十：面對不同波長光源與雌蝶標本之間的選擇時，雄大白斑蝶在不同時間與光源的距離



圖二十一：面對不同波長光源與雌蝶標本之間的選擇時，雄大白斑蝶與光源的平均距離

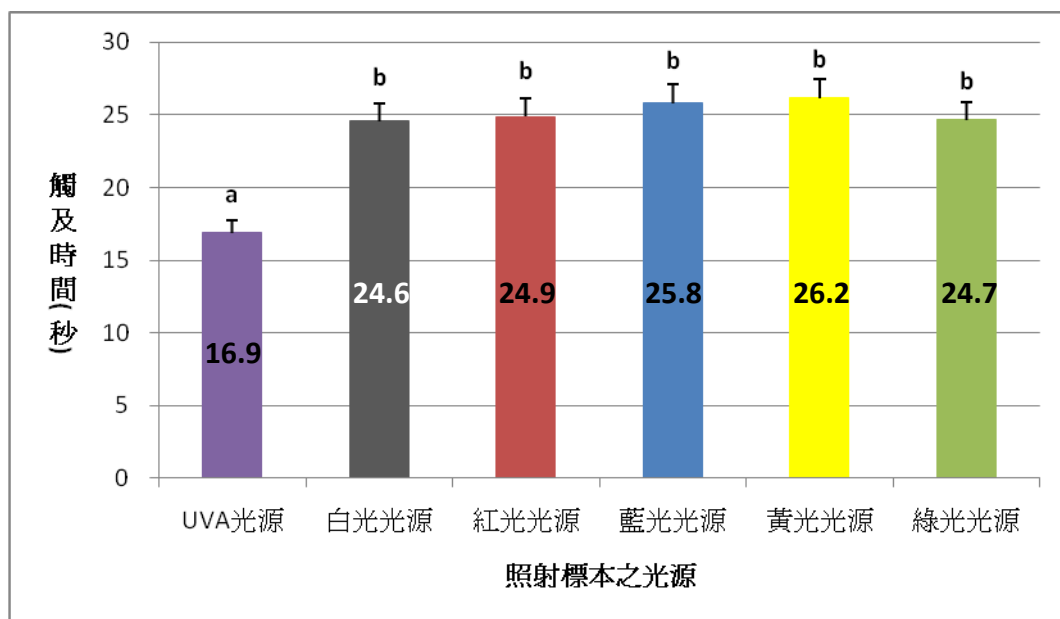
(六) 實驗六：探討雄大白斑蝶面對不同波長光源照射之同種蝴蝶的行為

此實驗中第一部分，我們以不同波長的光源照射雌大白斑蝶標本，由圖二十二可以看出，各組都顯示雄大白斑蝶於 30 秒內接近標本至 5 公分以內。



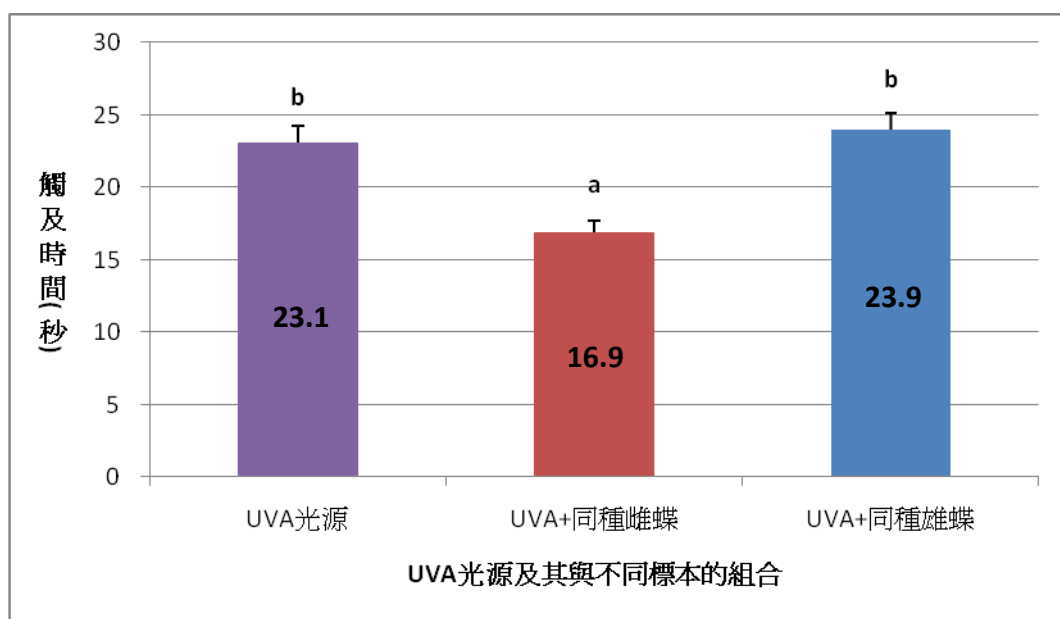
圖二十二：雄大白斑蝶在不同時間與不同波長光源照射之同種雌蝶標本的距離

由於使用不同光源時，雄蝶皆會靠進至觸及雌蝶標本，而且反應十分迅速，故由圖二十二無法看出各組之間的差異，於是我們便計算雄蝶在不同光源照射雌蝶時，由實驗開始至觸及雌蝶時所需的時間。由圖二十三可知，雄蝶觸及 UVA 照射之雌蝶所需的時間明顯較其他組短，具有顯著差異 ($p < < 0.05$)，而其餘組別內則無顯著差異；觸及不同波長光源照射之雌蝶所需的時間由長到短依序為：紅光光源 (24.9 秒) \approx 藍光光源 (25.8 秒) \approx 黃光光源 (26.2 秒) \approx 綠光光源 (24.7 秒) \approx 白光光源 (24.6 秒) $>$ UVA 光源。由此可知，雄大白斑蝶辨識雌蝶時所利用的光波是 UVA 紫外光照射雌蝶時所反射的光波。



圖二十三：雄蝶由起點開始至觸及不同光源照射之標本時所需的時間

在第二部分中，我們比較了雄蝶面對 UVA 光源及 UVA 光源與不同標本之組合（包含 UVA 照射之同種雌蝶與 UVA 照射之同種雄蝶）時，由實驗開始至觸及物件所需的時間。由圖二十可知，觸及 UVA 光源照射之同種雌蝶的時間明顯較其他兩者短，且都具有顯著差異 ($p < 0.05$)，而觸及其他兩物件所需的時間則無顯著差異。由此又可推論，UVA 光源照射之雌大白斑蝶可能會反射出與雄蝶不同的光線，有利雄蝶辨認。雌蝶反射出的光線會使雄蝶更加接近標本；而雄蝶所反射的光線卻不會。



圖二十四：雄大白斑蝶由開始至觸及 UVA 光源及不同標本組合時所需的時間

(七) 觀察雌雄大白斑蝶在 UVA 紫外光照射下之外觀差異

由圖二十五及圖二十六可以看出，在自然光照射下，雌雄大白斑蝶的外觀並沒有明顯差異，但是在暗室中以 UVA 黑燈管照射標本並拍攝後，可以由照片看出雌雄標本分別呈現出了不同的顏色。我們進一步以 PhotoImpact 8 分析翅膀顏色成分後發現，雄蝶標本之明度較雌蝶標本高，且雌蝶標本之 B 值所占百分比比較雄蝶高，R 值及 G 值所占百分比則較雄蝶低，顯示雌蝶的顏色較雄蝶偏紫（如表一）。雖然，我們尚無法模擬大白斑蝶複眼所看見的差異，不過，由本實驗已可得知，雌雄大白斑蝶在 UVA 紫外光照射下之顏色的確有所不同，而且，雄大白斑蝶可以利用此差異辨識出同種雌蝶。



圖二十五：自然光照下之雌大白斑蝶（左）與雄大白斑蝶（右）標本

圖二十六：UVA 照射下之雌大白斑蝶（左）與雄大白斑蝶（右）標本

標本種類	雄大白斑蝶		雌大白斑蝶	
	數值	百分比(%) =數值÷(R+G+B)× 100%	數值	百分比(%) =數值÷(R+G+B)× 100%
明度	81.9		56.2	
R (紅色)	68.7	23.4	47.7	21.9
G (綠色)	75.2	25.6	48.9	22.5
B (藍色)	149.9	51.0	120.8	55.6

表一：雌雄大白斑蝶翅膀在 UVA 紫外光照射下時反射顏色的成分

陸、 討論

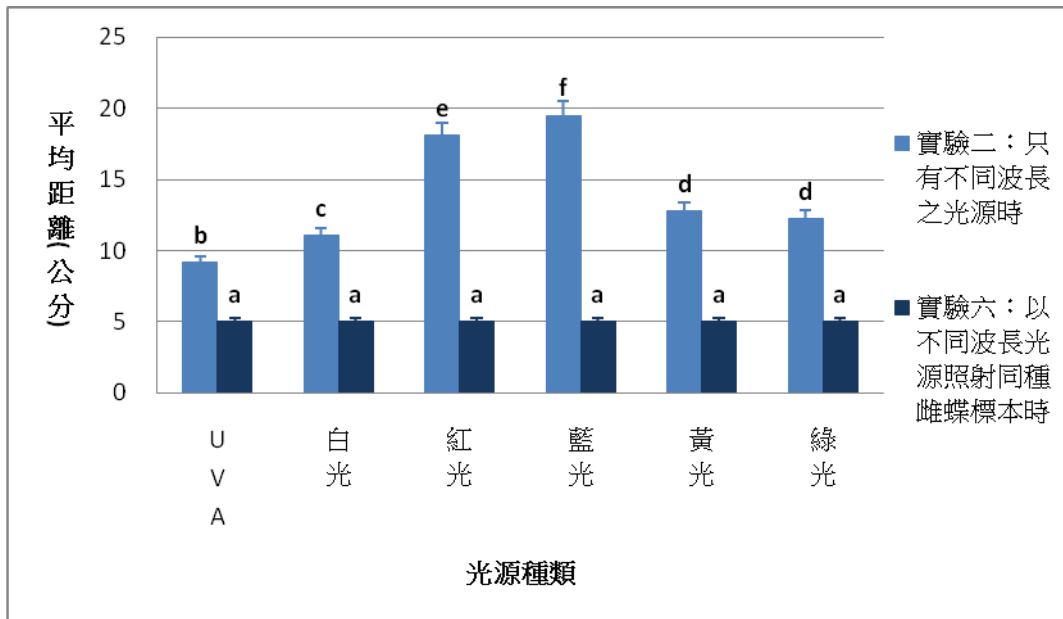
一、 光源偏好

由實驗一發現，雄大白斑蝶在弱光下即具有辨識光源的能力；而當亮度為 5 lux 及 9 lux 時，雄大白斑蝶對光源的偏好程度不再隨著亮度增加而有顯著變化。

由實驗二發現，在各種波長的光源之中，雄大白斑蝶對 UVA 紫外光源最為偏好，而且偏好程度明顯超過其他波長之光源。因此，我們推測雄大白斑蝶可以藉由 UVA 波段光波辨識同種雌蝶。而除了 UVA 光源外，雄大白斑蝶的第二偏好則是黃光及綠光，我們查閱資料（徐培峰，1999）後推測，這可能與大白斑蝶的食草—爬藤具有黃綠色花朵有關係。

二、 辨識不同蝴蝶時所運用的感覺器官

本研究證實，除了費洛蒙之外，視覺也是雄大白斑蝶辨識同種雌蝶時所運用的重要感官之一。由實驗三可以看出，即使在隔絕氣味的狀態下，雄大白斑蝶仍可辨識出同種的雌蝶；由實驗五也可以發現，無光線照射雌蝶時，雄大白斑蝶無法辨識出雌蝶。這證明了**視覺在雄大白斑蝶的近距離辨識行為中扮演著不可或缺的角色**。另外，比較實驗二與實驗六的結果（如圖二十七）可知，當光源照射雌蝶時（實驗六），雄大白斑蝶與光源的距離明顯較只有光源時（實驗二）近，這證實了**雄大白斑蝶會藉由視覺辨識並接近雌蝶**。也就是說，當雄大白斑蝶看見光源照射之雌蝶標本時，不只會受到光源的吸引，更會受到雌蝶的吸引，故距離較只有光源時近，且接近後會觸及雌蝶標本，而非光源。



圖二十七：雄大白斑蝶與不同波長光源或不同波長光源照射之同種雌蝶標本的平均距離（註：實驗六各組之間的差異無法由此圖看出，見圖二十三。於此僅比較實驗六與實驗二之差異。）

三、 辨識同種雌蝶時所利用的光源

由實驗六可以看出，當我們以 UVA 光源照射同種雌蝶標本時，雄大白斑蝶對標本的偏好程度明顯較只放置 UVA 光源或以 UVA 光源照射同種雄蝶標本時高（如圖二十四）。另外，由實驗七可知，雌雄大白斑蝶在 UVA 紫外光的照射下會反射出不同光線，呈現出不同的顏色，使得雌蝶顏色較雄蝶偏紫。因此，本實驗證實，雄大白斑蝶可以利用 UVA 紫外光辨識出同種的雌蝶。

柒、 結論

- 一、 雄大白斑蝶在弱光（1 lux）之下即具有辨識光源的能力。
- 二、 在亮度為 5 lux 以內時，雄大白斑蝶對光源的偏好程度與光源亮度成正向關係；而當亮度超過 5 lux 時，雄大白斑蝶對光源的偏好程度不再隨亮度的改變而有明顯變化。
- 三、 雄大白斑蝶對於 UVA 紫外光有明顯的偏好，對於接近其食草顏色的黃光及綠光也有偏好。
- 四、 近距離時，視覺是雄大白斑蝶辨識其他蝴蝶運用的主要感官。
- 五、 雄大白斑蝶可以利用 UVA 紫外光辨識出同種的雌蝶。
- 六、 以 UVA 紫外光照射雌大白斑蝶與雄大白斑蝶時，會反射出不同亮度及顏色的光線。

捌、 未來展望

雖然本實驗探討了雄大白斑蝶的視覺以及辨識的行為，但仍有很多疑惑是我們無法解開的，我們認為能有以下幾點值得繼續探討，以徹底了解雄大白斑蝶的視覺運作：

- 一、 雌大白斑蝶之視覺與辨識行為。
- 二、 不同波長的光源在雄大白斑蝶的辨識行為中影響的程度。
- 三、 費洛蒙與視覺分別在雄大白斑蝶的辨識行為中影響的程度。
- 四、 雄大白斑蝶辨識動態雌蝶的行為。
- 五、 大白斑蝶對蜜源植物的辨識機制。
- 六、 雌雄大白斑蝶翅膀在顯微鏡下的奈米顆粒外型及排列差異。
- 七、 以 UVA 紫外光照射雌大白斑蝶與雄大白斑蝶時，反射的光線在大斑蝶複眼中所分別呈現的顏色。
- 八、 反射紫外光之結構應用於日常生活（如住宅、防曬用品等）的可能性。

玖、 參考資料

- 一、 Matthew L.M.Lim, Michael F.Land and Daigin Li, 2007. Sex-Specific UV and Fluorescence Signals in Jumping Spiders. Science. Vol.315. No.5811, p.481.
- 二、 周延鑫，1975。斑蝶的性行為及動情素。科學月刊，66。
- 三、 周延鑫、彭清次，1972。費洛蒙之簡介。科學月刊，31。
- 四、 林大裕，1994。妳「聞」得到我嗎？。科學月刊，298。
- 五、 林孟穎，2009。微小害蟲顏色偏好之行為測試與開發應用。臺灣大學昆蟲學研究所學位論文。
- 六、 洪清坤，2007。姬小紋青斑蝶的求偶行為。蝶，2，26。
- 七、 徐堉峰，1999。臺灣蝶圖鑑第一卷。共同文化事業股份有限公司。
- 八、 康紹輝，2005。軟微影技術應用於仿蝶翼微結構製作與光學分析。南台科技大學機械工程研究所碩士學位論文。
- 九、 張永仁，2007。蝴蝶 100。遠流出版社。
- 十、 鄭瓊珍，2008。影響琉球紫蛺蝶領域雄蝶視覺偵測之因素探討。國立中山大學生物科學系碩士論文。
- 十一、 數位典藏與數位學習國家型科技計畫成果入口網
(http://digitalarchives.tw/collection_detail.jsp?exhibition_id=1381)
- 十二、 蝶-圖像式檢索(Intuitive Search: Butterflies of Taiwan)
(http://digimuse.nmns.edu.tw/butterfly-new/bfly_search.htm)

【評語】 040710

1. 本研究為探討雄大白斑蝶與雌大白斑蝶之視覺差異。
2. 結果顯示，雄蝶可利用視覺辨識雌蝶，雄大白斑蝶對 UVA 紫外光照射下之雌蝶最為偏好，結果顯示視覺是雄大白斑蝶辨識同種雌蝶重要器官。
3. 本計畫具應用價值，除了視覺外如能分析嗅覺差異，則成果可更佳。