

中華民國第 59 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 生物科

030301

虎光三色~不同色光環境對蠅虎撲食準確度之探討

學校名稱：臺東縣立寶桑國民中學

作者： 國二 葉柏亨 國二 巫丞峻 國一 邱雋恩	指導老師： 吳若嘉 游家豪
---	-----------------------------

關鍵詞：蠅虎、色光、撲食行為

摘要

在校園不同的環境中可以發現到好幾種的蠅虎在不同的地方出現，我們發現亮度與色光組成這兩個物理因子會使蠅虎的種類分佈出現明顯的差異，因此我們假設不同種類的蠅虎在不同色光環境下，其撲食準確度會有所差異。我們選擇了偏好處在較陰暗環境的安德遜蠅虎(*Hasarius adansoni*)，及偏好處在較光亮環境的眼鏡黑條蠅虎(*Phintella versicolor*)作為研究物種，參考了 Nagata 在 2012 發表的研究〈參考文獻一〉，除了使用白、紅、綠光，還多加三原光中的藍光，來進行蠅虎撲食實驗。我們發現到，相比於安德遜蠅虎的結果，眼鏡黑條蠅虎除了在紅光下難以捕食以外，連在綠光下的表現都較差，反而藍光才是最適合眼鏡黑條蠅虎進行撲食的色光，顯示了兩種蠅虎的對於不同色光的反應有明顯的落差。

壹、實驗動機

一、實驗動機

跳蛛(jumping spider)又名蠅虎，在中文裡許多動物的名稱後再加上一個虎字，便是指該動物的掠食者，而蠅虎，顧名思義便是蒼蠅的掠食者了。在分類學上蠅虎屬於節肢動物門(Arthropoda)、蛛形綱(Arachnida)、蜘蛛目(Araneae)、新蛛亞目(Araneomorphae)蠅虎科(Salticidae)〈參考文獻三〉，在台灣蠅虎十分常見，也同時是許多人討厭的動物之一，每每看到便想將其殺死或驅逐出境，主要原因大概是他那不討人喜歡的外表吧!但其實這種動物在居家中是益蟲，會幫忙捕食蒼蠅、果蠅等有害環境衛生的動物，他那精準的跳躍力和視力在眾多動物獵人中是十分優秀的，根據華人百科〈條目: 蠅虎〉指出有些蠅虎的極限彈跳距離甚至可達身長 50 倍〈參考文獻四〉，要如此精準的跳躍到遠距離，想必其一定有一套精確的瞄準系統。而有研究指出蠅虎有著十分特殊的視覺，牠們的視網膜中有一套特殊的濾光機制，可以利用綠色的光聚焦在最底層的視網膜以及倒數第二層同樣也對綠光敏感卻無法清晰聚焦視網膜的散焦程度來判斷獵物的距離，更精確地捕捉獵物〈參考文獻一、五〉，因此讓我們產生了好奇。開始抓蠅虎來觀察之後發現，似乎不同種蠅虎偏好出現在不同的棲地環境中，那麼生活在不同棲地的蠅虎，是否感受著不同的色光？而不同色光是否影響蠅虎捕食？而在國二上學期第六單元〈參考文獻九〉我們學到白光是由所有顏色的光所匯集而成，那麼蠅虎利用綠色的光捕食，白光中其他顏色的光是否會對他們造成干擾呢？所有蠅虎都只適合在綠光捕食嗎？是否生活在室內陰暗環境的蠅虎，牠們在不同色光環境下的捕食表現會與居住在草叢環境的蠅虎有所不同？這些問題雖然在國外有一些相關研究〈參考文獻

一〉，但在台灣這方面的研究卻很少，有關蠅虎的種種問題皆引起我們的好奇，想要一探究竟。

二、文獻探討

我們探討了幾份文獻結論如下：

1. 虛擬實鏡～安德遜蠅虎撲食模式：這篇文獻主要探討安德遜蠅虎的基本生態，而其中有一項實驗提到色光是否會對安德遜蠅虎的捕食造成影響，其一部分結論為：發現規則固定色光背景中，蠅虎在綠、藍、靛、紫為主的色光中會撲食。蠅虎在不規則色譜圖色光背景中不會撲食。
2. 活躍於光明的闇獵人 ---- 安德遜蠅虎：這篇研究主要是在探討有關安德遜蠅虎的生態行為，包括雌雄個體的比例、分類學地位、生殖行為等等，其中有探討到了蠅虎食性，以活蠅為最喜愛食物，蚊子則次之。
3. 蠅虎眼角膜奈米結構之生物光學研究(游家豪成大碩論 2017):這一篇論文主要探討有關於蠅虎眼角膜特殊的奈米結構會反射出特定波長的光，而每一種蠅虎所反射出來的光又不同，也就是每種蠅虎都會反射出特定波長的光，吸收部分波長的光到視網膜，而同一隻蠅虎的前中眼(Anterior Median Eye)所反射的光波長又和前側眼(Anterior Lateral Eye)有所不同，最後提出眼角膜所反射的光會和其棲地有關的結論。
4. 蠅虎眼神好辨色有絕活：這一篇文獻主要是在講解為何蠅虎要利用綠色的色光進行捕食，與牠們特殊的濾光構造有關，這有助於幫助牠們精確的瞄準並撲倒獵物。
5. Depth perception from image defocus in a jumping spider. Nagata, T., Koyanagi, M., Tsukamoto, H., Saeki, S., Isono, K., Shichida, Y., Tokunaga, F., Kinoshita, M., Arikawa, K. and Terakita, A. (2012).Science (2012)335, 469-71:這一篇刊登在自然期刊的研究在外國為十分著名的研究，也是我們重要參考文獻之一，提供了我們許多背景資料以及實驗方法，其結論十分明瞭，安德遜蠅虎在綠色的色光底下捕食較為精確，反觀在紅色則有跳不準的問題，另外也做出同色光光線的明暗程度對蠅虎撲食的影響並不大的結果。

貳、研究目的

目前我們已知安德遜蠅虎需要在有綠光的光環境當中才能夠較有效地撲食到獵物，那麼，環境偏好與安德遜蠅虎不同的另一種蠅虎種類—眼鏡黑條蠅虎，牠們進行撲食時所需的色光條件是否會有差異？

參、研究設備及器材

一、實驗用具

(一) 第一階段：兩種蠅虎在不同色光環境的撲食行為差異實驗用具

1. 攝影機及腳架。
2. 透明觀察盒(160 mm*160 mm)內附比例尺(30 mm)，上用保鮮膜封住開口。〈圖一〉



◀ 圖一、撲食實驗透明觀察盒

3. 暗箱，裝有白、綠、紅三色 SMD 5050 LED 燈條〈每種顏色都各用 54 顆 LED〉。
〈圖二〉



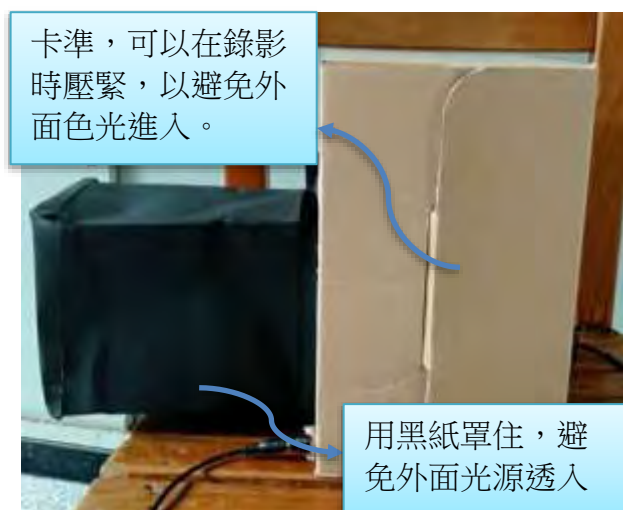
▲ 圖二、撲食實驗色光實驗箱

(二) 第二階段：眼鏡黑條蠅虎撲食色光環境實驗用具

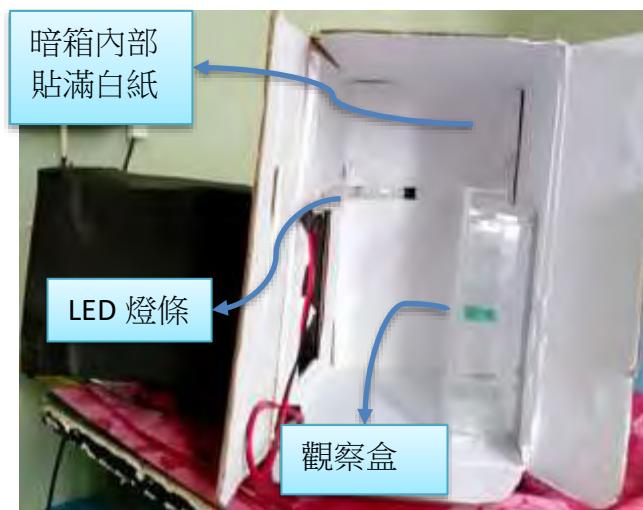
1. 具有錄影功能手機〈手機取代原本的錄影機〉
2. 透明觀察盒(160mm*160mm)內附比例尺〈30mm〉，上用硬質塑膠蓋封住開口〈原先

在第一階段實驗使用保鮮膜會影響跳蛛的撲食)。

3. 暗箱，共有紅、藍、弱綠、白、強綠五種顏色色光的暗箱(圖三)，每個顏色獨立一個暗箱，箱內貼滿白紙，以避免反射到紙箱的褐色，而手機錄影的孔洞附近則貼滿黑紙，以避免外面的光透進去，所有色光的亮度都控制在 1500 lux，而強綠光為 4500 lux。第一階段實驗是用 LED 顆數做為控制變因，但亮度並不到眼鏡黑條蠅虎平常生活環境的亮度，因此我們在第二階段時間做了亮度這個控制變因的調整。



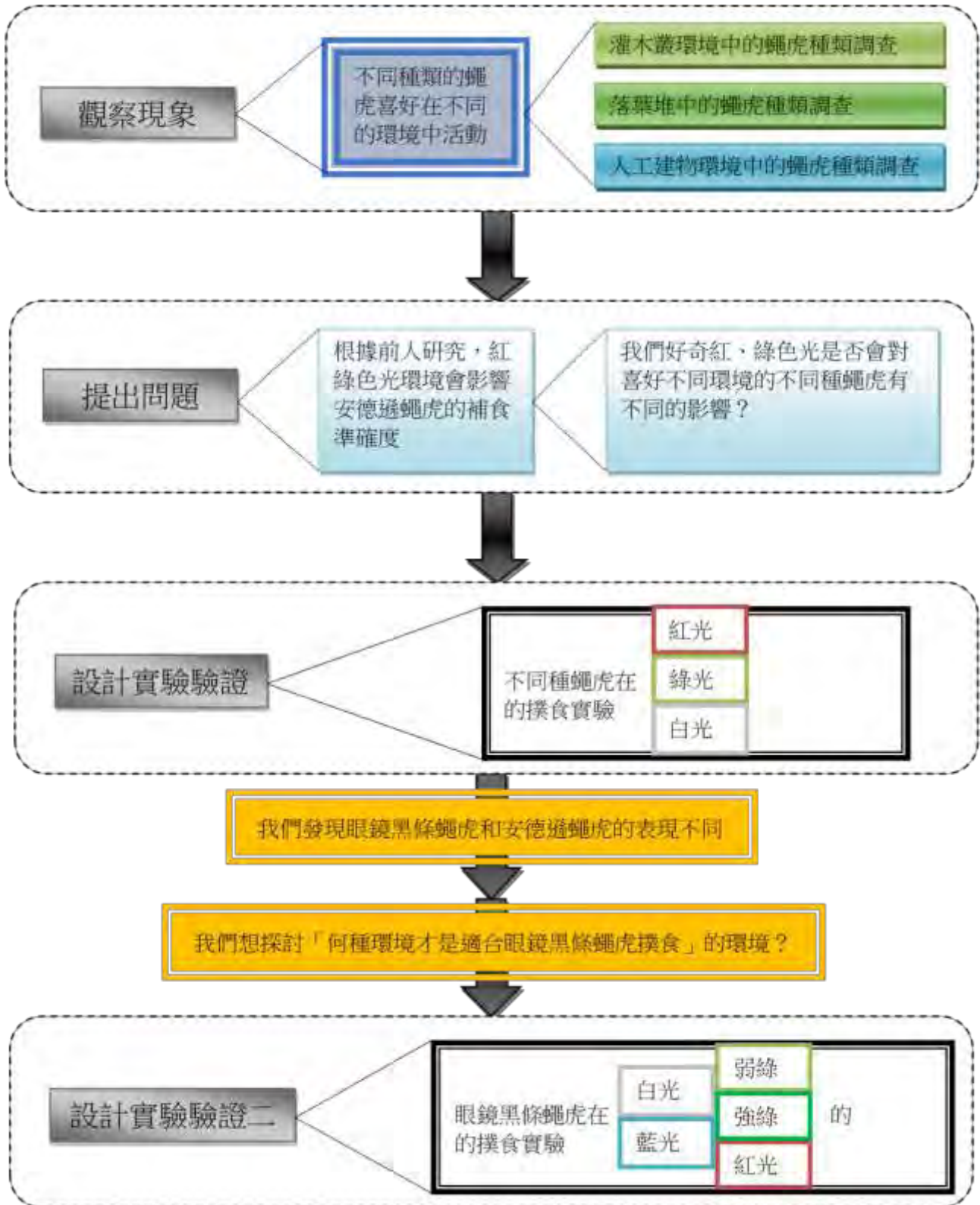
▲ 圖三左、實驗暗箱外部照



▲ 圖三右、暗箱內部設置

肆、研究過程

一、研究架構



二、實驗物種捕捉方法

(一) 捕捉方式：

人工建物上的蠅虎捕捉方法：捕捉人工建物上蠅虎的方法是以目視為主，因為人工建物為平面，可以看到蠅虎時直接利用透明布丁盒蓋住，等到其進入布丁盒再蓋上蓋子，用此方法捕捉蠅虎只須注意蓋住時不要壓死蠅虎便可以順利捕捉蠅虎了。

灌木叢中的蠅虎捕捉方式：先將一支雨傘張開朝上並至於灌木叢下方，接著用一根棍子用力敲打灌木叢，這時住在灌木叢中的蠅虎便會因為敲打的力量而墜落下來，落在事先張開的雨傘中，接著再利用透明布丁盒將其裝入即可。

(二) 實驗物種：



▲圖四、安德遜蠅虎(*Hasarius adansoni*)



▲圖五、眼鏡黑條蠅虎 (*Phintella versicolor*)

三、實驗設計

(一) 第一階段實驗一：蠅虎分布環境與種類關係實驗

我們設計了實驗想要捕捉人工建物與灌木叢兩種校園環境的蠅虎，以證實先前所觀察的「不同環境會出現不同種類的蠅虎」這個現象是否屬實，實驗的過程就是採用上述提過的「實驗物種捕捉方式」，將所有採集到的蠅虎種類與數量紀錄下來，並在捕捉過程中測量蠅虎出現環境的亮度，以做為接下來實驗二的參考。

(二) 第一階段實驗二：不同種蠅虎在不同色光環境的撲食行為差異實驗

我們把常出現於人工建物安德遜蠅虎及灌木叢中的眼鏡黑條蠅虎當作實驗對象，觀察牠們在不同色光環境下的撲食狀況：

我們參考了 Nagata 在 2012 的實驗〈參考文獻一〉，製作出了一個實驗專用的固定色光實驗箱，利用一個有上蓋的箱子，並將箱子內部貼滿白紙，避免箱子反射出其他色光，蓋子與箱子的接縫處則是貼上黑色的紙，以免箱子外的光進入箱子中；接著在箱子內部貼上的 SMD 5050 led 燈條，使用 12V 1A 的變壓器進行連接，並且選擇了三種顏色，各色燈條各長 90 公分，分別為：冷白〈對照組，同時有紅綠藍三種色光的環境，色溫 6000k-6500k〉，紅〈實驗組 1，模擬自然界色光中的紅光，峰值波長 630 nm〉，綠〈實驗組 2，模擬自然界色光中的綠光，峰值波長 520 nm〉。

我們讓捕捉到的蠅虎空腹一段時間，以激起其食慾，以便進行蠅虎的捕食實驗。將足夠數量的葉蟬及單隻蠅虎放入觀察盒中，使用保鮮膜封住觀察箱，再放入固定色光實驗箱中，錄影約 0.5~1 個小時後〈圖六〉，停止實驗並觀看影片、紀錄撲食行為，我們並記錄以下兩種數據：



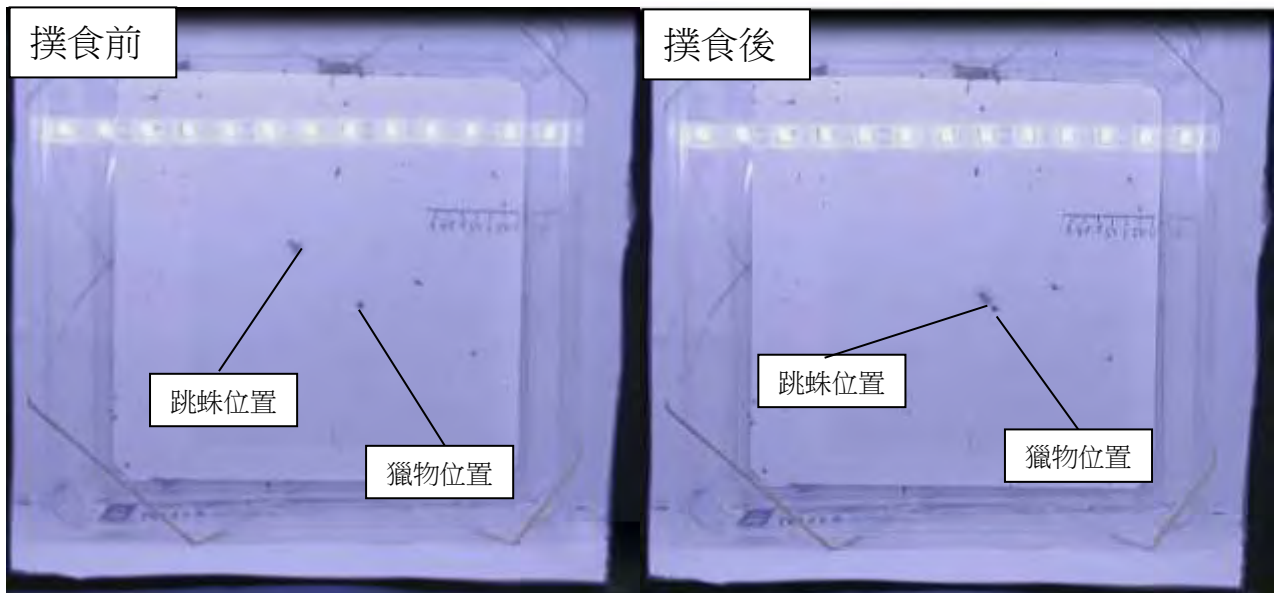
圖六、撲食實驗設置

1. 捕食成功率

紀錄蠅虎在實驗過程中的撲食次數以及撲食成功次數，兩者相除以即得到撲食成功率。

2. 撲食偏差率

若是剛好蠅虎的撲食行為是發生在錄影機的正平面上，我們便會記錄其撲食前起跳點與獵物之間的距離，以及撲食後蠅虎和獵物之間的距離〈圖七〉，將撲食後與獵物距離除以撲食前與獵物距離即得到撲食偏差率。〈p.s. 我們的距離測量都固定從蠅虎的前中眼起算〉

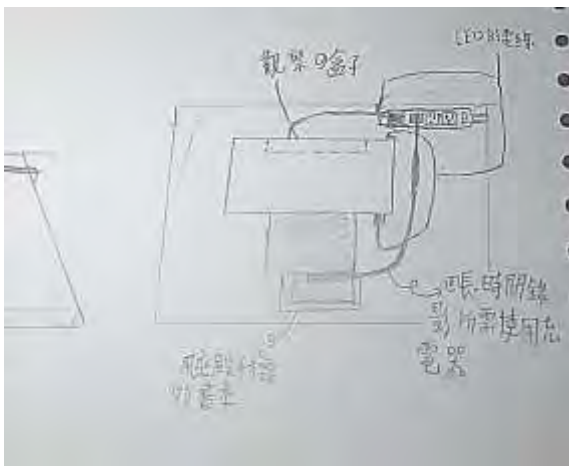
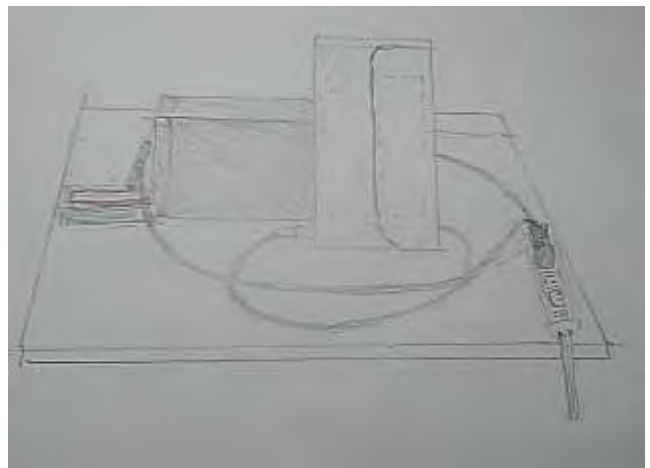
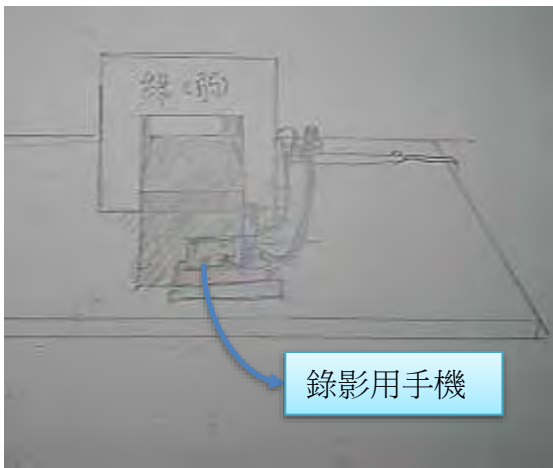


▲ 圖七、蠅虎撲食前後畫面截圖，來計算撲食偏差率

(三) 第二階段實驗：眼鏡黑條蠅虎撲食色光環境實驗

第二階段的實驗流程與第一階段的實驗二相似，但其中我們修改了一些細節。

首先我們將錄影器材改成了手機，錄影的畫質較高清。還將保鮮膜改成硬質塑膠殼，減少跳蛛撲食出現失誤。我們也將實驗暗箱進行改良，將所有顏色的暗箱分開來，這樣可以一次進行多組實驗；接著我們把控制變因改成色光的照度一樣〈皆為 1500 lux 左右〉，而不是燈條數一樣，因為我們發現就算是一樣的燈條數，不同顏色的光仍會有出現不同照度的問題；接著色光我們改為五種色光，除了冷白和紅光之外，我們想知道在第一階段實驗當中，眼鏡黑條蠅虎在綠光下的捕食成效不佳會不會跟亮度有關，於是便將綠光分成了弱綠光〈亮度約為 1500 lux〉和強綠光〈亮度約為 4500 lux〉，另外我們也新增了藍光〈峰值波長 470 nm〉做為新的環境色光來進行實驗。〈圖八〉



圖八左上、第二階段實驗設置示意圖〈正面〉
 圖八右上、第二階段實驗設置示意圖〈側面〉
 圖八左下、第二階段實驗設置示意圖〈俯視〉

然後，我們將第一階段所記錄的數據”捕食成功率”沒辦法精準呈現蠅虎撲食的準確度，因為有時蠅虎撲到獵物但卻讓獵物跑掉而捕食失敗，因此我們改成了蠅虎撲食時的”一次撲中率”，只要蠅虎精準地一次跳中獵物，即為成功。

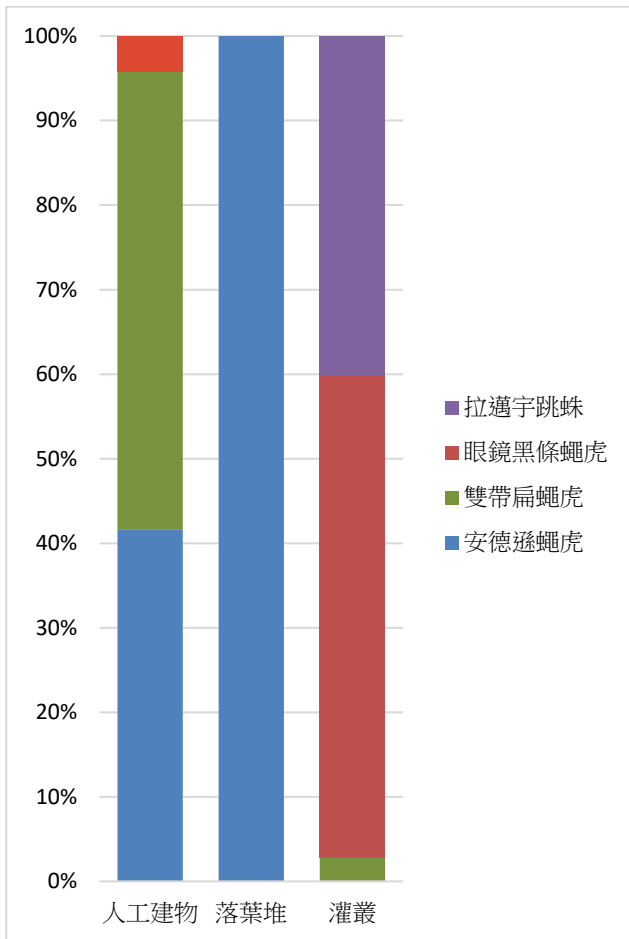
伍、研究結果

一、第一階段實驗一：蠅虎分布環境與種類關係

我們總共在人工建物環境捕捉到 24 隻蠅虎，其中有 1 隻眼鏡黑條蠅虎、10 隻安德遜蠅虎以及 13 隻雙帶扁蠅虎(*Menemerus bivittatus*)，而在灌木叢環境總共捕捉到 35 隻蠅虎，其中有 20 隻眼鏡黑條蠅虎、14 隻拉邁宇跳蛛(*Cosmophasis lami*)以及 1 隻雙帶扁蠅虎，然後我們在不屬於人工建物和灌叢這兩種環境的第三種環境—落葉堆中發現了 10 隻跳蛛，全為安德遜蠅虎。(圖九)

我們總共捕捉了各八隻的安德遜蠅虎和眼鏡黑條蠅虎，發現安德遜蠅虎喜歡出沒在亮度為 50 ± 32 lux 的環境，相反的，眼鏡黑條蠅虎則喜歡出沒在亮度為 1500 ± 573 lux 的環境。

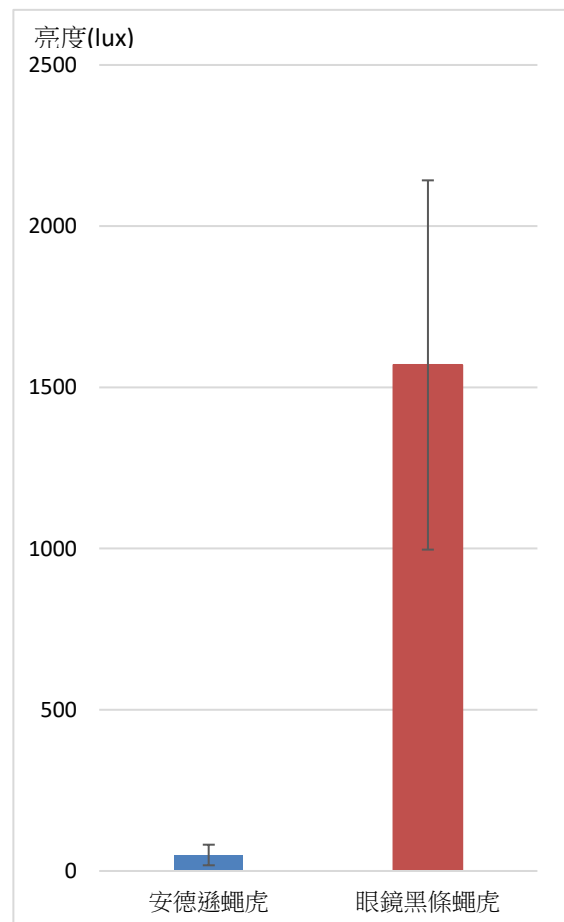
(表一和圖十)



▲ 圖九、不同環境蠅虎品種比例圖

▼ 表一、兩種蠅虎的偏好環境亮度。

物種	安德遜蠅虎	眼鏡黑條蠅虎
環境亮度 (lux)	50 ± 32	1569 ± 573



▲ 圖十、兩種蠅虎的偏好環境亮度

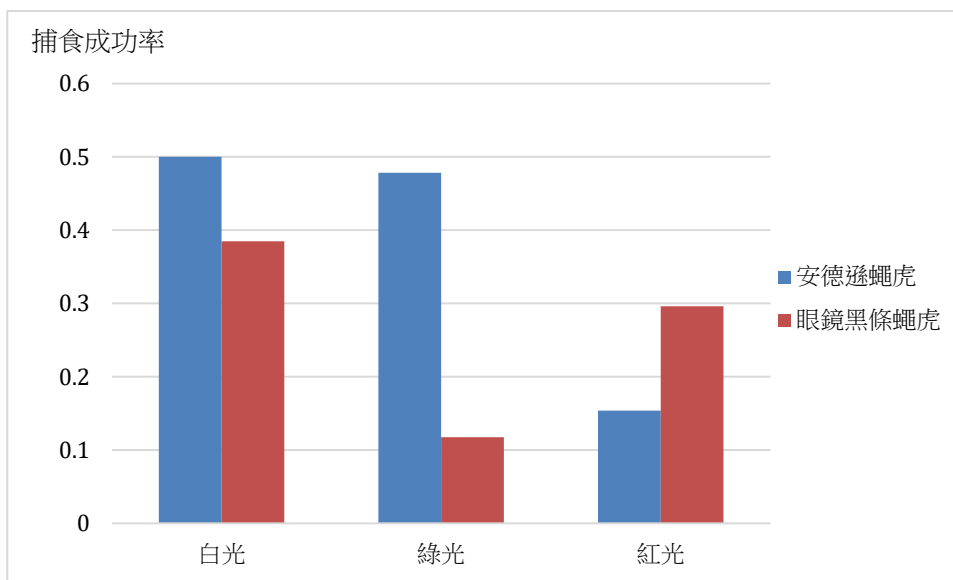
二、第一階段實驗二：不同種蠅虎在不同色光環境的捕食行為差異實驗

(一) 捕食成功率實驗

我們將所有錄得的影片中所有蠅虎有捕食的次數以及成功捕食的次數都記錄下來，計算後所得到的結果如表二和圖十一所示。

▼表二、兩種蠅虎在三種色光環境下的捕食成功率實驗結果。

		冷白光	綠光	紅光
安德遜蠅虎	捕食次數	8	23	13
	成功次數	4	11	2
	成功率	0.5	0.478261	0.153846
眼鏡黑條蠅虎	捕食次數	13	17	27
	成功次數	5	2	8
	成功率	0.384615	0.117647	0.296296



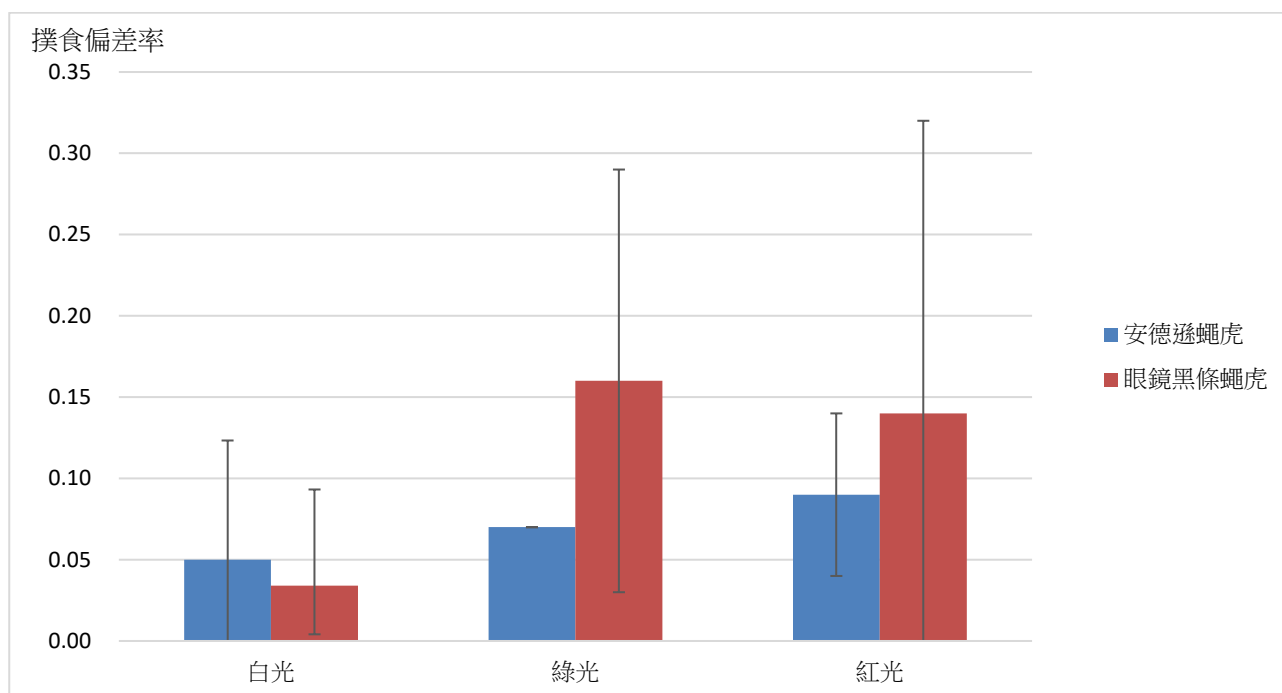
▲圖十一、蠅虎捕食成功率實驗結果。

(二) 撲食偏差率實驗

不是所有蠅虎的撲食行為都發生在錄影機正平面，有時會發生在透明觀察盒的側面，若是發生在觀察盒側面則無法計算距離，因此我們僅能記錄到發生在正平面的撲食距離，兩種蠅虎三種色光環境的撲食偏差率平均與總體標準差如表三以及圖十二所示。

▼表三、兩種蠅虎在三種色光環境下的撲食偏差率實驗結果。

	白光	綠光	紅光
安德遜蠅虎 撲食偏差率(Mean ± SD)	0.05 ± 0.07	0.07 ± 0.00	0.09 ± 0.05
眼鏡黑條蠅虎 撲食偏差率(Mean ± SD)	0.03 ± 0.06	0.16 ± 0.13	0.14 ± 0.18



▲圖十二、兩種蠅虎在三種色光環境下的撲食偏差率實驗結果。

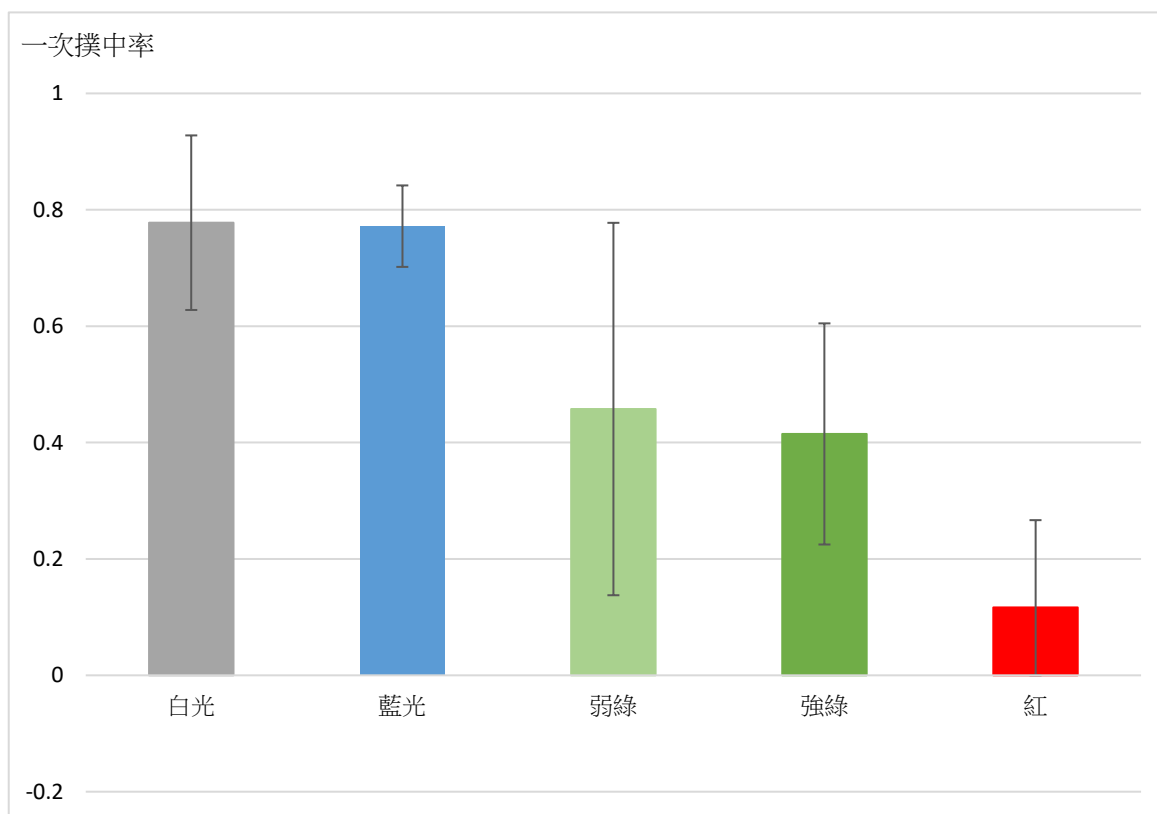
三、第二階段：眼鏡黑條蠅虎撲食色光環境實驗

(一) 一次撲中率實驗

我們將所有錄得的影片中 6 隻眼鏡黑條蠅虎有進行撲食的次數以及一次撲中獵物的次數都記錄下來，計算其一次撲中率，所得結果如表四及圖十三所示。我們發現眼鏡黑條蠅虎一次撲中率由高到低分別為冷白 \geq 藍 $>$ 弱綠 \geq 強綠 $>$ 紅。

▼表四、眼鏡黑條蠅虎於不同色光環境中的一次撲中機率。〈N=6〉

色光	白光	藍光	弱綠光	強綠光	紅光
一次撲中率 (Mean \pm SD)	0.78 \pm 0.15	0.77 \pm 0.07	0.46 \pm 0.32	0.41 \pm 0.19	0.12 \pm 0.15



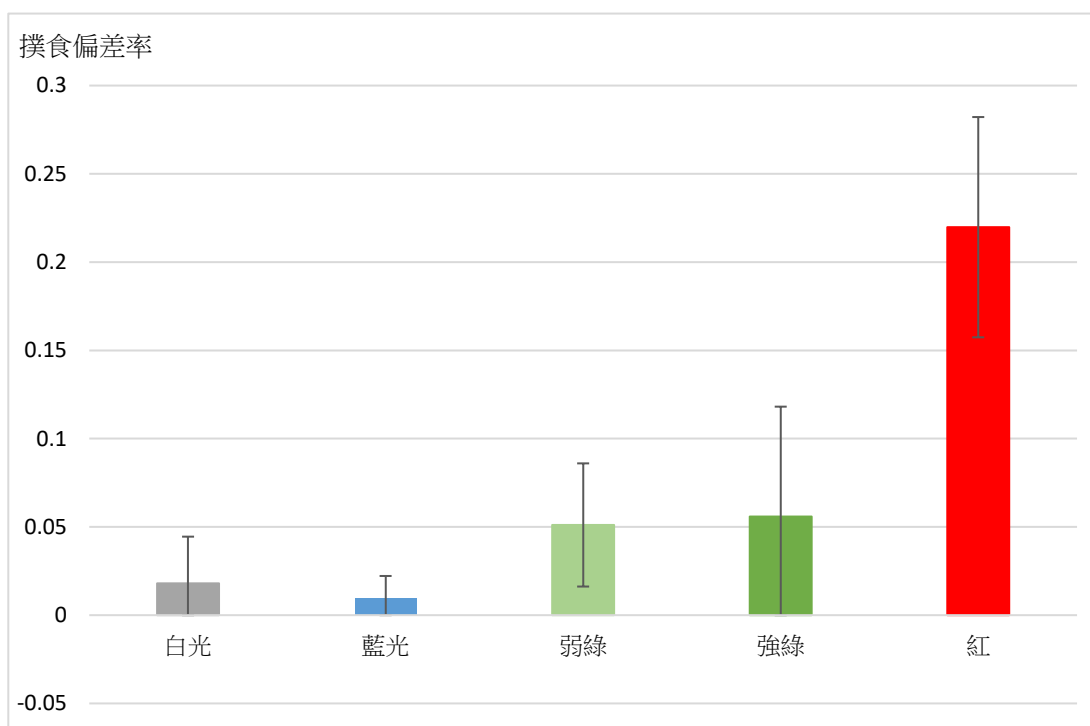
▲圖十三、眼鏡黑條蠅虎於不同色光環境中的一次撲中機率。

(二) 撲食偏差率實驗

我們進行了 6 隻眼鏡黑條蠅虎的撲食實驗 (N=6)，將僅發生在正平面的撲食行為進行記錄，計算眼鏡黑條蠅虎在不同色光環境下的撲食偏差率，所得結果如表五及圖十四所示。我們發現眼鏡黑條蠅虎的撲食偏差率由高到低分別為紅>強綠≥弱綠>冷白>藍。

▼ 表五、眼鏡黑條蠅虎在不同色光下的平均撲食偏差率。(N=6)

色光	白光	藍光	弱綠光	強綠光	紅光
撲食偏差率 (Mean ± SD)	0.018 ± 0.026	0.009 ± 0.013	0.051 ± 0.035	0.056 ± 0.062	0.22 ± 0.062



▲ 圖十四、眼鏡黑條蠅虎於不同色光環境中的撲食偏差率。

陸、討論

一、蠅虎居住環境探討

從我們的實驗結果中可以看到各種蠅虎都有明顯偏好的居住地，但同一種蠅虎所偏好的居住地似乎並不一定是人工建物或是灌木叢，因為如同我們的結果所呈現的〈圖九〉，安德遜蠅虎除生活在人工建物之外，還常出現在一種人工建物以及灌木叢的交接地帶---落葉堆中，另外眼鏡黑條蠅虎雖然常常出現在灌木叢中，但卻仍有少數出現在人工建物的紀錄；安德遜蠅虎和眼鏡黑條蠅虎所居住的棲地似乎不是以人工建物以及灌木叢為界線，甚麼才是他們最喜歡的居住環境呢？

我們目前無法確定安德遜蠅虎以及眼鏡黑條蠅虎為何會棲息在這些環境中，但是有一點很值得留意，安德遜蠅虎出現的環境亮度平均比眼鏡黑條蠅虎低很多，安德遜蠅虎多出現在陰暗的牆角以及落葉堆中，而眼鏡黑條蠅虎則多出現在陽光強烈的灌木叢中，這或許就是影響兩種跳蛛分布環境不同的原因，也有可能和他們的捕食行為有所相關。

二、生活在不同環境的不同種蠅虎在不同色光環境下捕食行為差異探討

我們的實驗數據中〈圖十一、十二〉安德遜蠅虎的實驗結果與我們所參考的國外研究結果〈參考文獻一〉大致相同，在冷白光及綠光的環境下捕食都有較高成功率以及較低的偏差率，而在紅光下的捕食成功率較低。

然而令我們感到訝異的是，眼鏡黑條蠅虎不只在紅光環境無法有效撲食，連在綠光環境的表現也明顯不如在白光環境下的表現〈圖十一、十二〉，此情況與安德遜蠅虎截然不同，我們參考了 Maddison 在 2014 年所發表的蠅虎親緣關係研究論文〈參考文獻二〉後發現，兩種蠅虎的親緣關係或許可能是造成此差異的原因，也就是說因為親緣關係較遠，所以眼鏡黑條蠅虎和安德遜蠅虎的視網膜內所含的感光細胞種類或許有所不同，若是未來能夠再多探討其他與眼鏡黑條蠅虎親緣關係較近的另外兩種蠅虎〈雙帶扁蠅虎與拉邁宇跳蛛〉，或許有可能找出某些關聯性。這也說明我們一開始的假設確實是正確的，這兩種生活在不同棲地的蠅虎的確有著不同的色光撲食行為，眼鏡黑條蠅虎和安德遜最大的差別在於安德遜蠅虎適合在綠光中捕食，而眼鏡黑條蠅虎卻無法在綠光中捕食準確。

三、眼鏡黑條蠅虎捕食行為探討

第二階段的實驗結果告訴我們〈圖十三、十四〉，三種環境色光當中只有藍光才是適合

眼鏡黑條蠅虎進行準確撲食的色光，眼鏡黑條蠅虎在純藍光下的表現與白光環境並無差異。

而另外我們也想知道究竟是綠光真的不適合眼鏡黑條蠅虎進行撲食？還是只是因為亮度不足才讓牠們在第一階段的實驗表現失常？因此我們做了弱綠光 1500 lux 與強綠光 4500 lux 的比較，結果告訴我們，眼鏡黑條蠅虎的確無法在純綠光環境下進行有效地撲食。然而，我們卻發現一件有趣的現象，雖然亮度提升無法提升蠅虎的撲食命中率，但卻可以提升蠅虎的撲食意願，六隻進行實驗地眼鏡黑條蠅虎在強綠光下總共撲食了 217 次，明顯高於白光下 71 次、藍光下 106 次、弱綠光下 39 次以及紅光下 29 次。顯然，提升綠光的亮度對眼鏡黑條蠅虎是有意義的，因此我們推測，眼鏡黑條蠅虎視網膜內是有能夠接收綠色的感光細胞，但卻可能沒有像感受藍光那樣敏感，且綠光可能也無法讓物體清晰聚焦在視網膜上，因此綠光的亮度提升可能可以使眼鏡黑條蠅虎較清楚得看到獵物，但卻無法有效判斷獵物的距離。

再來是紅光的部分，眼鏡黑條蠅虎和安德遜蠅虎在紅光下的捕食行為十分類似，他們在紅光中的行為通常就是不太活動，也鮮少有捕食的行為出現，就算有捕食的行為出現，多數都撲不準，因此我們可以推測，眼鏡黑條蠅虎是不適合在紅光下捕食的，這也有可能代表眼鏡黑條蠅虎對於紅光的敏感度較低，且紅光無法清晰地聚焦在視網膜上。

最後，在總共六隻眼鏡黑條蠅虎所進行的撲食行為實驗當中，我們還觀察到了另一個現象，有三隻眼鏡黑條蠅虎在綠光下的撲食表現明顯異於另外三隻，牠們在綠光下都撲得相對比較準確，這讓我們感到十分困惑，為何明明是同一物種，體型也差不多，卻有如此明顯的差異。對此，我們有以下有兩點猜測：第一：可能因年齡不同，所以牠們視網膜上的視覺感光細胞上可能出現差異；第二，我們則是認為，目前台灣的跳蛛分類研究相對缺乏，所以雖然這六隻眼鏡黑條蠅虎在外觀上長得非常相似，但或許有隱藏種的可能。以上兩點猜測都有待日後更多的樣本與其他方面的實驗提供更多的證據才能加以證實。

四、眼鏡黑條蠅虎可在藍光下捕食，那安德遜蠅虎呢？

其實我們也有做一些安德遜蠅虎在藍光下的撲食實驗，這是目前還沒有人做過的，僅在「虛擬實鏡～安德遜蠅虎撲食模式」一文中提到安德遜蠅虎在以藍、綠、靛、紫為背景の色光下會捕食，但實際上此篇文獻中藍、綠、靛、紫色光的結論皆是在沒有遮蔽外界色光的情況下所得出的。而我們觀察到，在純藍色光環境下的安德遜蠅虎撲食意願非常低，以至於我們沒有得到任何撲食的數據，他在藍光下的捕食意願和眼鏡黑條蠅虎有著明顯的不同，與其在紅光中十分相似，甚至更低。我們猜測或許安德遜蠅虎缺乏能夠接收藍光的感光細胞，但這需有待日後其他研究進行探討。

柒、結論

- 一、不同棲地的蠅虎種類組成有明顯差異，以及眼鏡黑條蠅虎和安德遜蠅虎分布偏好環境的色光亮度也有明顯差異，眼鏡黑條蠅虎通常出沒在亮處，而安德遜蠅虎則偏好出沒在暗處。
- 二、由第一階段實驗可知，兩種蠅虎在紅光下捕食成功率大幅下降，撲食偏差率也明顯提升。而在綠色光線下，安德遜蠅虎捕食成功率和捕食準確度和白光環境下差不多，而眼鏡黑條蠅虎則有別於安德遜蠅虎，在綠光下的捕食成功率相較於白光明顯下降，同樣撲食偏差率也明顯提升。
- 三、由第二階段實驗可知，藍光是最適合眼鏡黑條蠅虎進行撲食的色光，牠們在純藍光下的表現與白光並無差異；即使提升綠光的亮度依舊無法讓眼鏡黑條蠅虎進行有效地撲食；紅光則是最不適合眼鏡黑條蠅虎進行撲食的色光環境。
- 四、由撲食行為實驗可推知安德遜蠅虎和眼鏡黑條蠅虎，兩種蠅虎眼中視網膜上的感光細胞種類、眼鏡內的濾鏡種類、或是眼角膜的反光光譜可能不同，因而使視網膜感光範圍有所差異，而造成兩種跳蛛在不同色光下的捕食行為有明顯差異。

捌、參考資料及其他

一、英文部分

【期刊文章】

- 一、Nagata, T., Koyanagi, M., Tsukamoto, H., Saeki, S., Isono, K., Shichida, Y., Tokunaga, F., Kinoshita, M., Arikawa, K. and Terakita, A. (2012). *Depth perception from image defocus in a jumping spider*. *Science* (2012)335, 469-71.

【摘要及資料庫資料】

- 二、Maddison, W. P., Li, D., Bodner, M., Zhang, J., Xin Xu, Liu, Q., & Liu, F. (2014). *The deep phylogeny of jumping spiders* (Araneae, Salticidae). *ZooKeys*, (440), 57 – 87.
doi:10.3897/zookeys.440.7891

二、中文部分

【單篇文章】

- 三、Tomchiukc 等(2010~2018) • 蠅虎科 • 維基百科 • 取自

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E8%A0%85%E8%99%8E%E7%A7%91>

- 四、作者不詳(時間不詳) • 跳蛛介紹 • 華人百科 • 取自

<https://www.itsfun.com.tw/%E8%A0%85%E8%99%8E%E8%B7%B3%E8%9B%9B/wiki-3557513-5883992>

- 五、Nathan I. Morehouse(2015) • 蠅虎眼神好辨色有絕活 • 科學網論文 • 取自

<http://news.sciencenet.cn/htmlpaper/20156312585562836468.shtm>

【科展文章】

- 五、劉又慈、許家昀、陳紹恩(2015) • 虛擬實鏡~安德遜蠅虎撲食模式 • 中華民國第 55 屆中小學科學展覽會 • 取自全國中小學科展屆次查詢

- 六、陳蓓蓓、鄭佩琪(2004) • 活躍於光明的闇獵人 ---- 安德遜蠅虎 • 中華民國第四十四屆中小學科學展覽會國中組 • 取自全國中小學科展屆次查詢

【學位論文】

- 七、林明杰(1997) • 安德遜蠅虎的生活史及求偶行為之研究 • 花蓮:東華大學

- 八、游家豪(2017) • 跳蛛眼角膜奈米結構之生物光學研究 • 台南:成功大學

- 九、郭重吉等(2011) • 國民中學自然與生活科技二上 • 南一書局

【評語】 030301

這是一個有趣的生態實驗調查，研究作品的題目名稱相當有趣，容易吸引讀者目光。作品主題主要探討蠅虎在不同環境光源下獵食的偏好以及準確性是否有所不同。主要實驗題材是兩種棲地不同的蠅虎，分別是眼鏡黑條蠅虎及安德遜蠅虎。實驗的第一階段先比較不同環境光源條件下（人工棲物，落葉堆，及灌叢）蠅虎的族群分佈，再建構一個可以調控光源的撲食行為實驗觀測箱，在不同光源環境下觀測兩種蠅虎的撲食成功率及偏差性，具有合理的實驗模型及驗證方式。

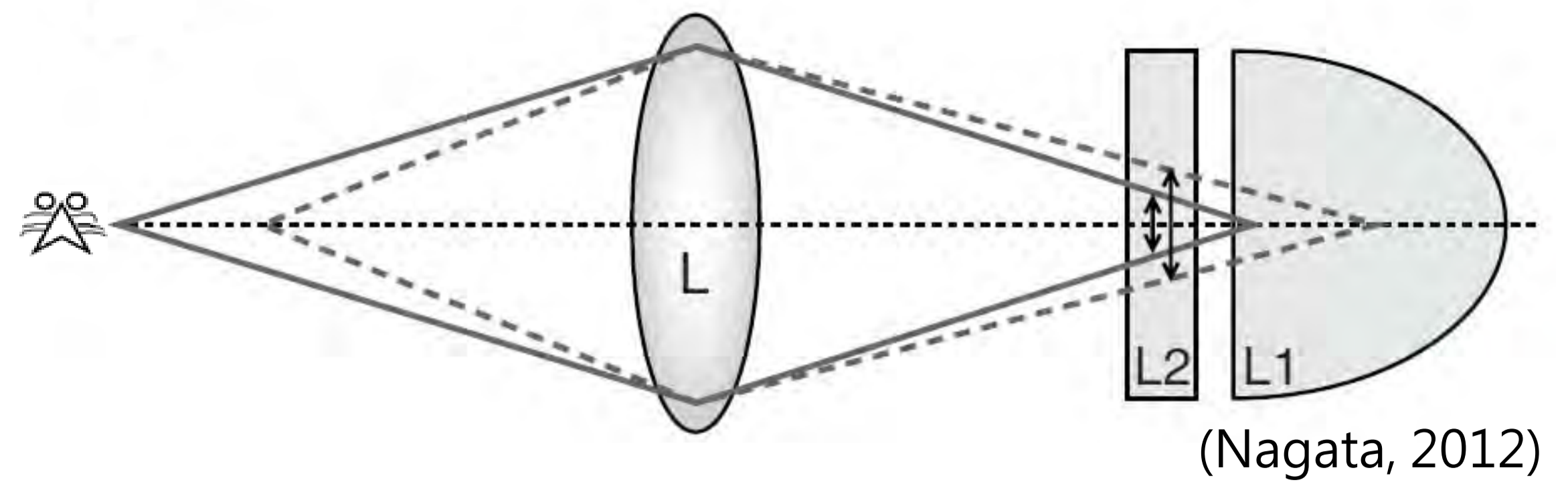
1. 能應用舊有文獻資料，重新針對不同物種做進一步觀察/比對，十分用心。唯實驗設計與探討過程中，似乎對於獵物的初始距離沒有一致性的設置，這容易讓實驗的呈現上有邏輯瑕疵。究竟是色光影響抑或距離遠近影響？(第 56 屆/高中動物醫學組/2.3-3 公分獵捕準確高 6-7 公分，成功率大幅下降)。
2. 實驗方法中能由國中生作者自行設計實驗專用的固定色光實驗箱，充分展現學生積極投入研究的科學態度。
3. 參考文獻宜按作品說明書中出現先後次序予以編排。另外，參考文獻六至八並未在作品說明書中被引述提及。
4. 針對光源與亮度的對照實驗探討結論很有趣，棲地環境與光質的相關性，解釋得不清楚，為什麼不同棲地的蠅虎，就會

利用不同顏色的光？建議將來可將實驗結果與兩種蠅虎本身喜好的棲地環境條件一起做比較，也許可以找到決定兩種蠅虎撲食成功率及準確率的主要原因。

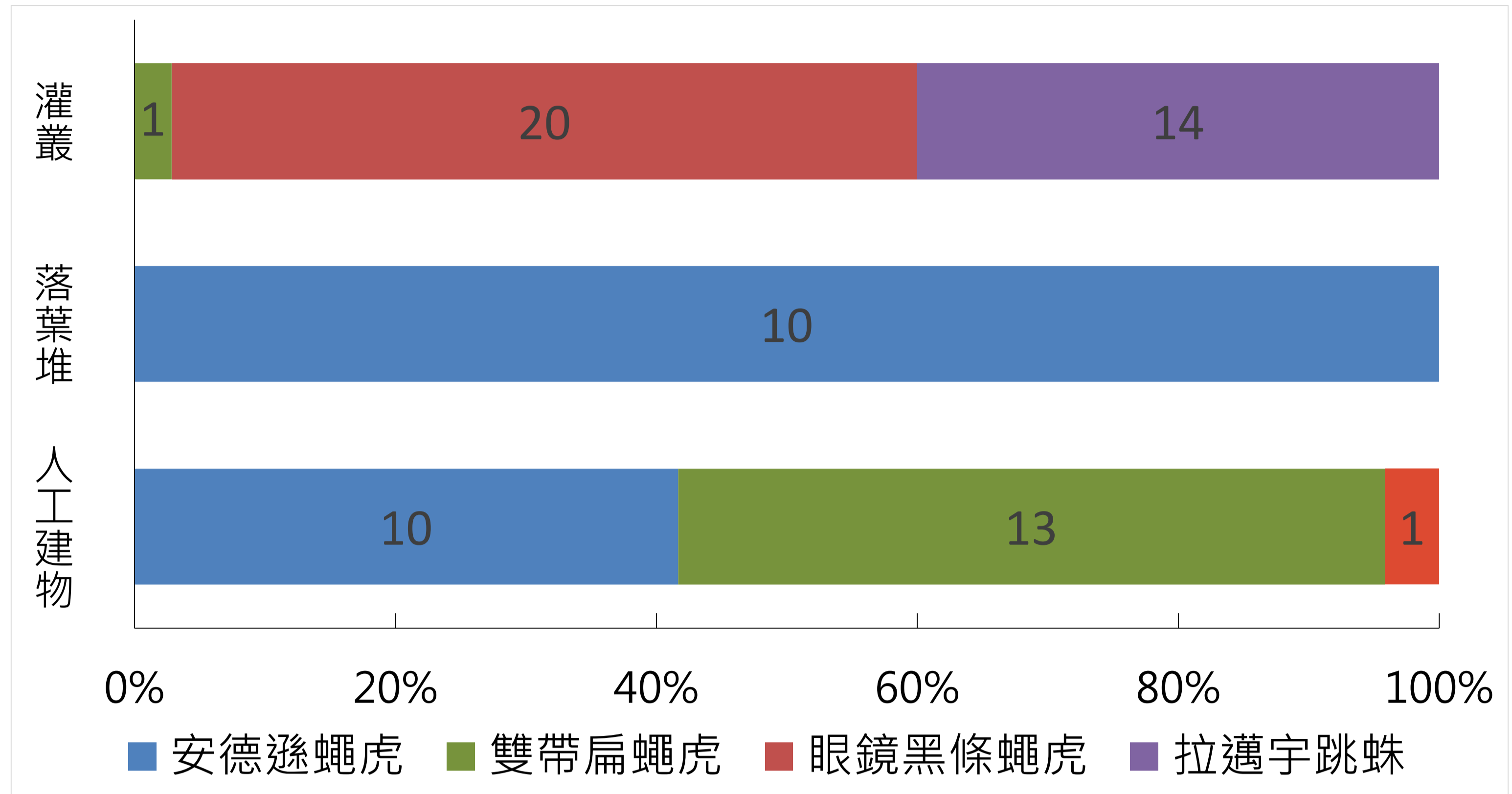
5. 捕食行為牽涉到蠅虎在不同光線下辨識反應，建議此部分可以在後續繼續設計實驗深入探討。
6. 實驗設計部分宜說明使用蠅虎數量、次數等詳細資訊，以說明重複次數等相關實驗內容。

壹、研究動機

一. 從Nagata(2012)的研究中得知，安德遜蠅虎 (*Hasarius adansoni*) 可以利用綠光可聚焦在第一層視網膜，就無法聚焦在第二層視網膜的物理特性，來精準的判斷獵物的距離。

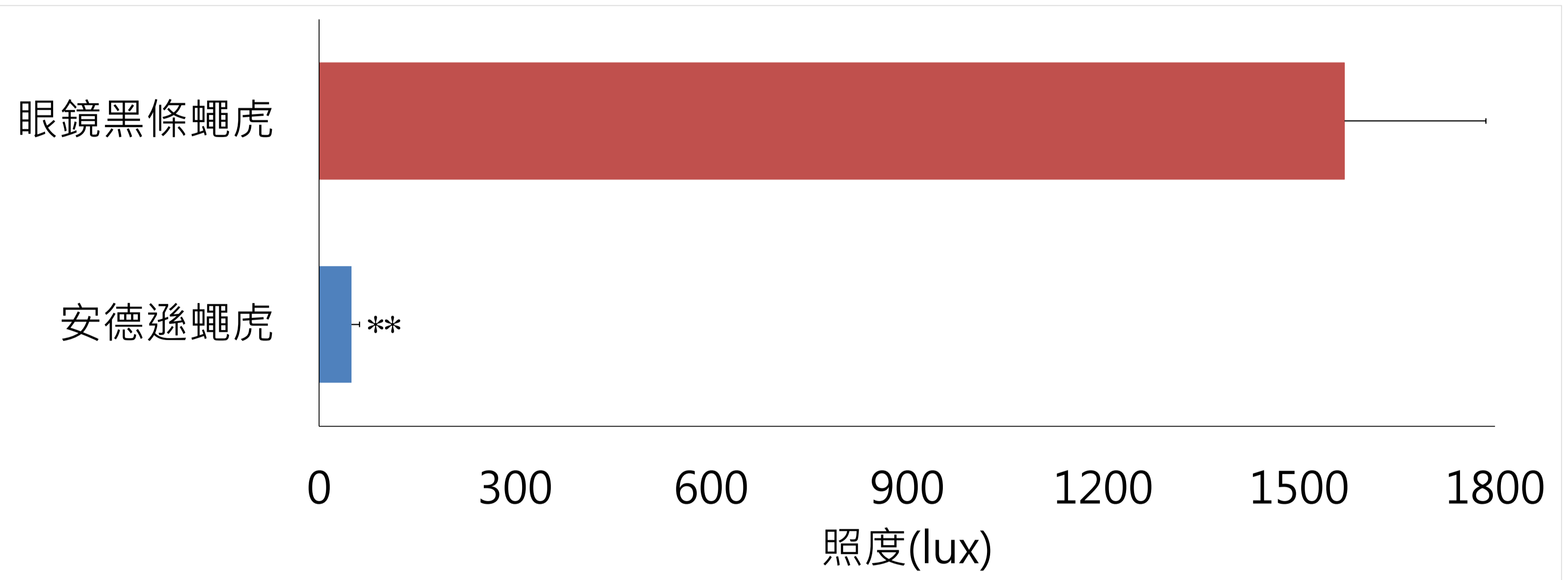
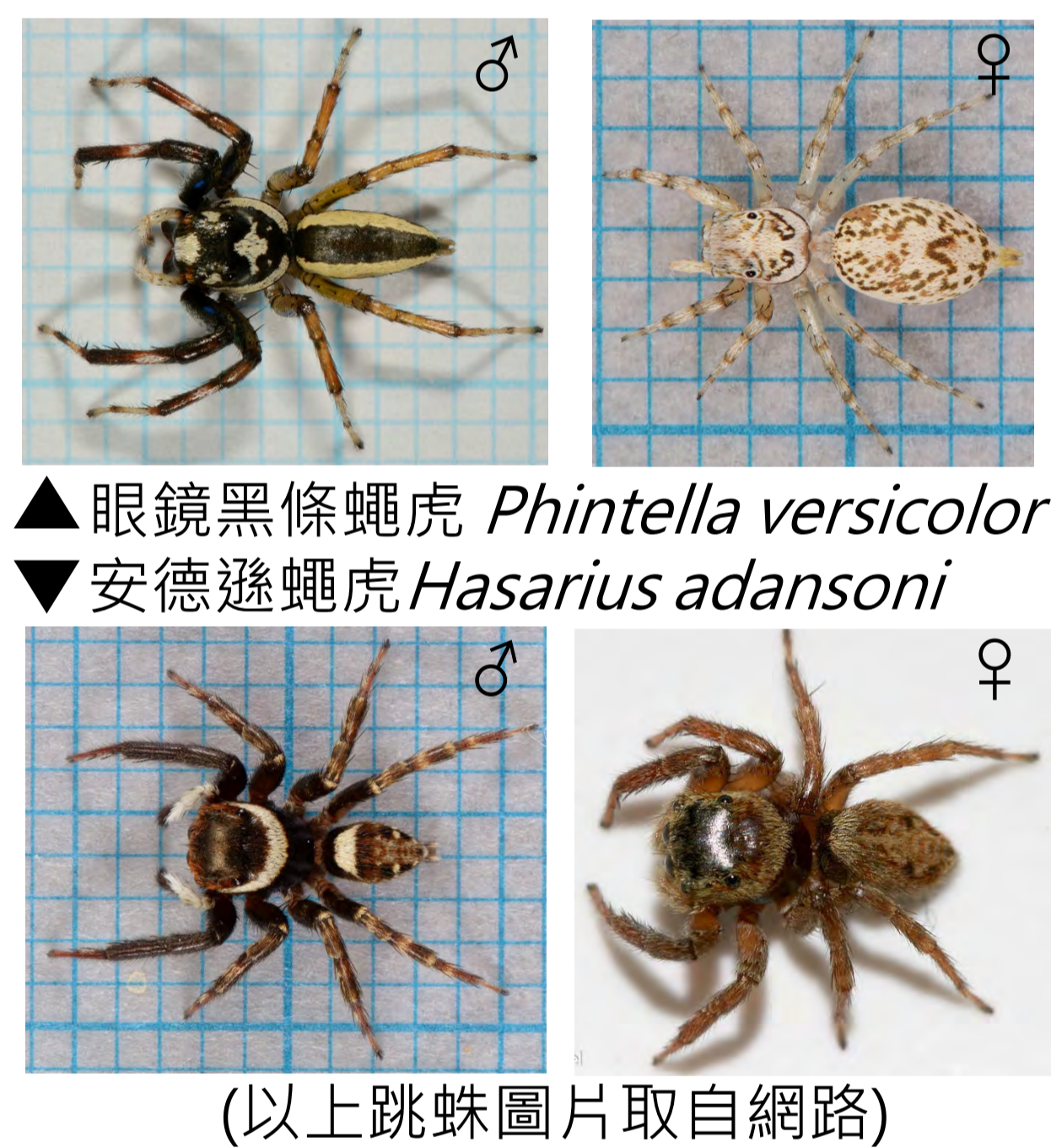


二. 我們進行簡單地觀察與採集之後，不同環境的蠅虎種類組成有所不同，像是安德遜蠅虎偏好出現在較陰暗的環境，而眼鏡黑條蠅虎 (*Phintella versicolor*) 和拉邁宇跳蛛 (*Cosmophasis lami*) 則偏好出現在明亮的環境。

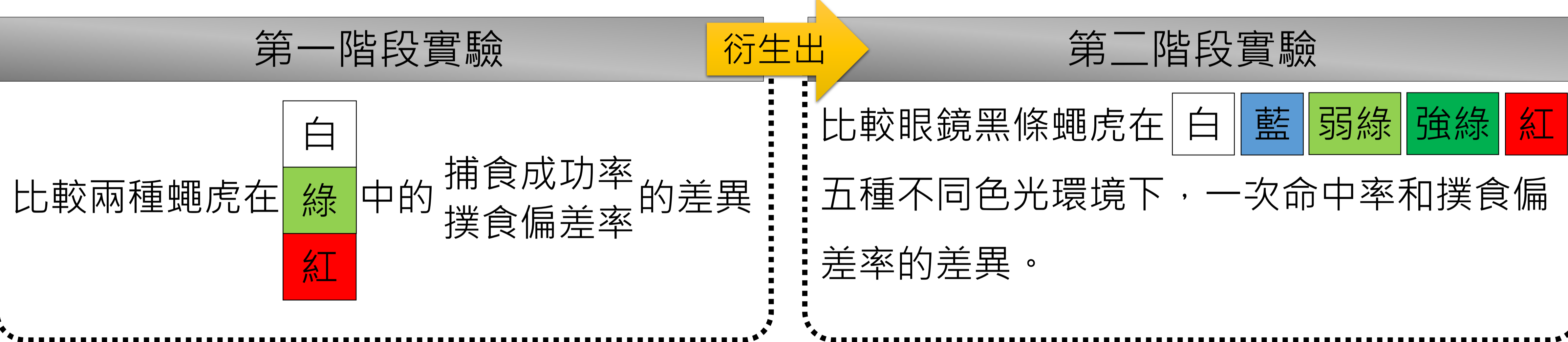


貳、研究目的

目前我們已知安德遜蠅虎需要在有綠光的光環境當中才能夠較有效地撲食到獵物，那麼，環境偏好與安德遜蠅虎不同的另一種蠅虎種類—眼鏡黑條蠅虎，牠們進行撲食時所需的色光條件是否會有差異？如果有差異，會是怎麼樣的差異？

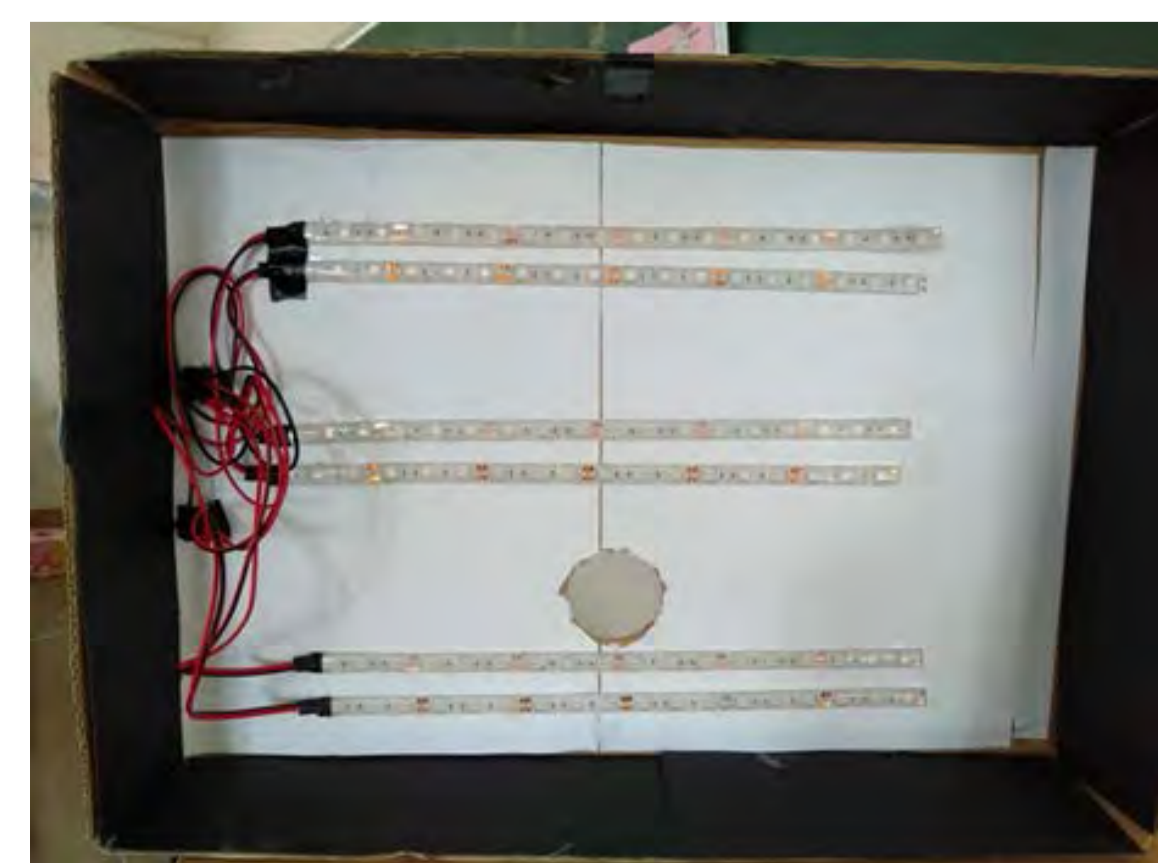


參、研究架構、材料與方法



實驗用具

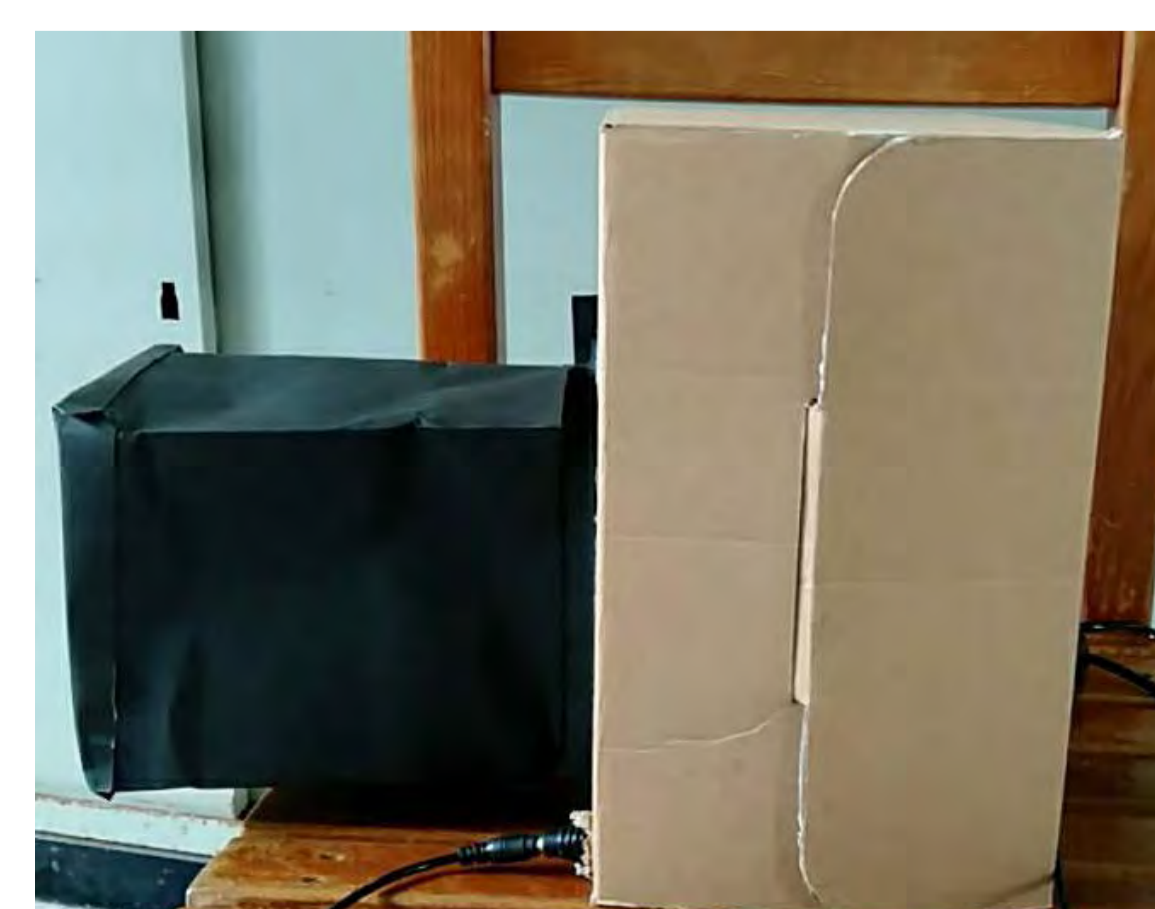
1. 錄影器材。
2. 透明觀察盒 (160 mm*160 mm)，底部貼白紙且畫有比例尺 (30 mm)。
3. 測量亮度用的Phyphox app。
4. 行為實驗暗箱，內裝有各色SMD 5050 LED燈條。



第一代暗箱
箱內亮度的控制變因為相同顆數的白、綠、紅三色的LED燈泡。



第二代暗箱
箱內亮度的控制變因改同是1500 lux的白、藍、弱綠、紅光的LED燈，而強綠光則為4500 lux。



第二代暗箱
箱內亮度的控制變因改同是1500 lux的白、藍、弱綠、紅光的LED燈，而強綠光則為4500 lux。



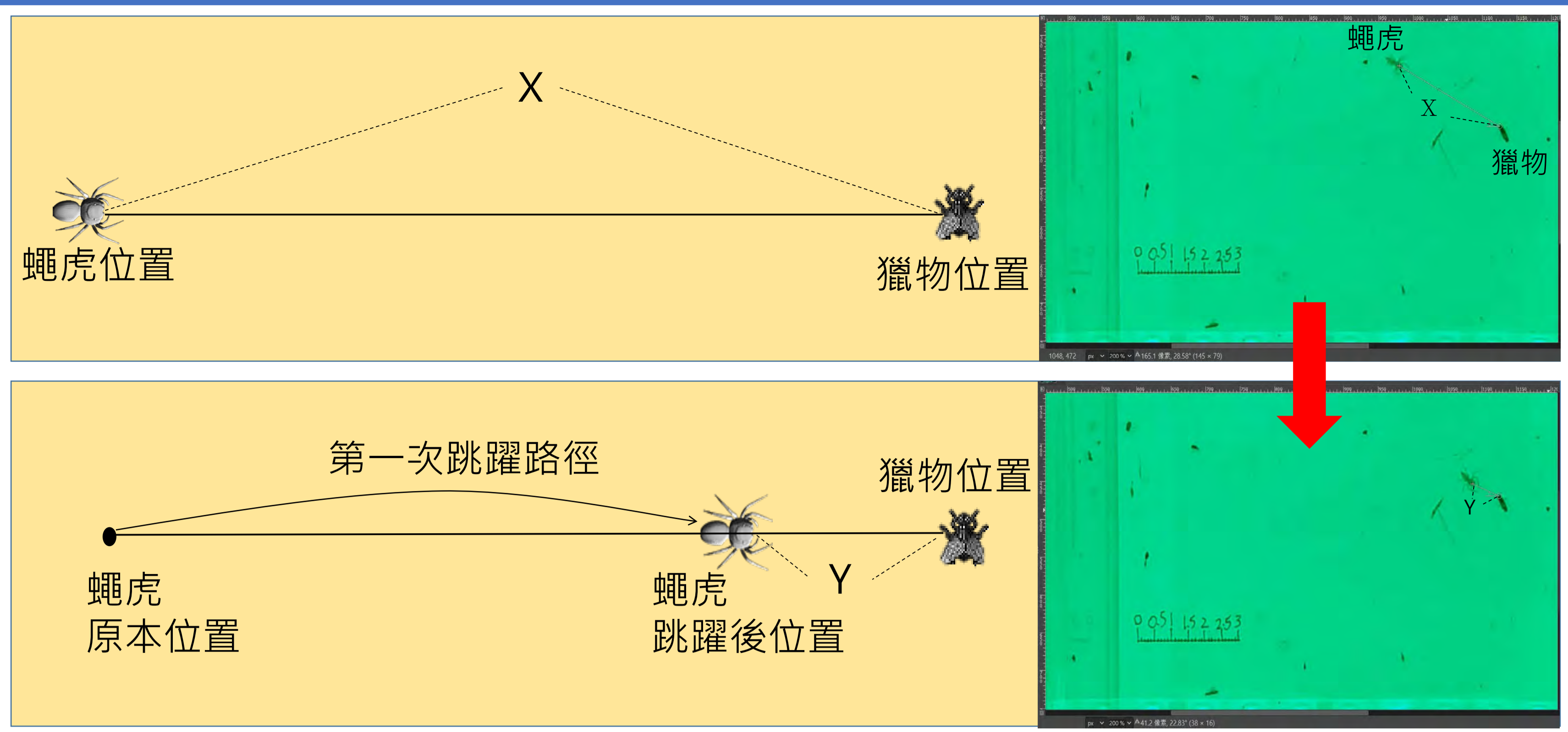
透明觀察盒

蠅虎撲食行為實驗方法

將從野外採集到的蠅虎及葉蟬放入觀察盒及暗箱中，並記錄以下兩種數據：

- (1)捕食成功率：捕食成功次數除以撲食次數
- (2)撲食偏差率：若撲食行為是發生在錄影機的正平面上，我們將撲食後與獵物距離Y除以撲食前與獵物距離X即得到撲食偏差率。

〈p.s. 距離測量都固定從蠅虎的前中眼起算〉

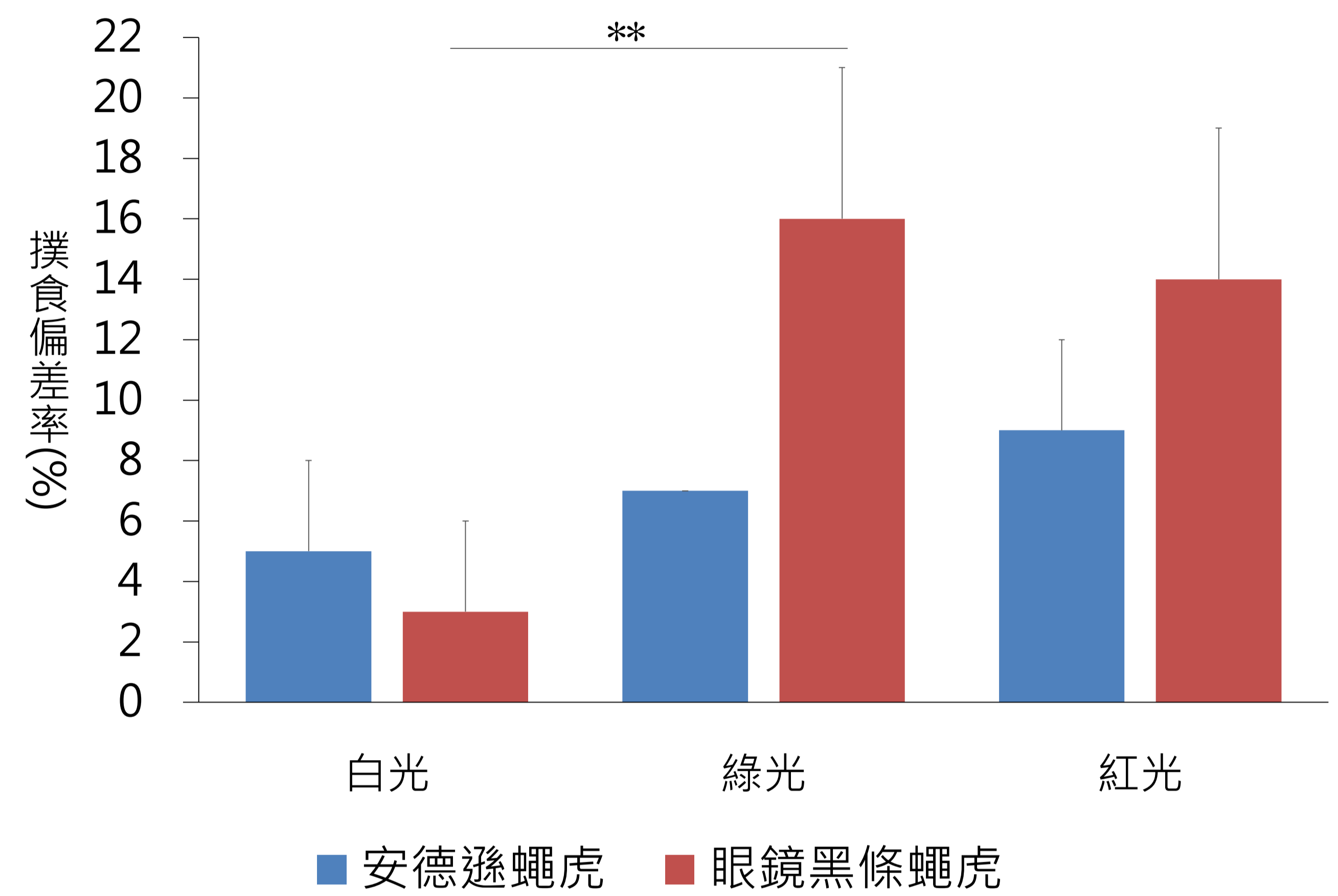
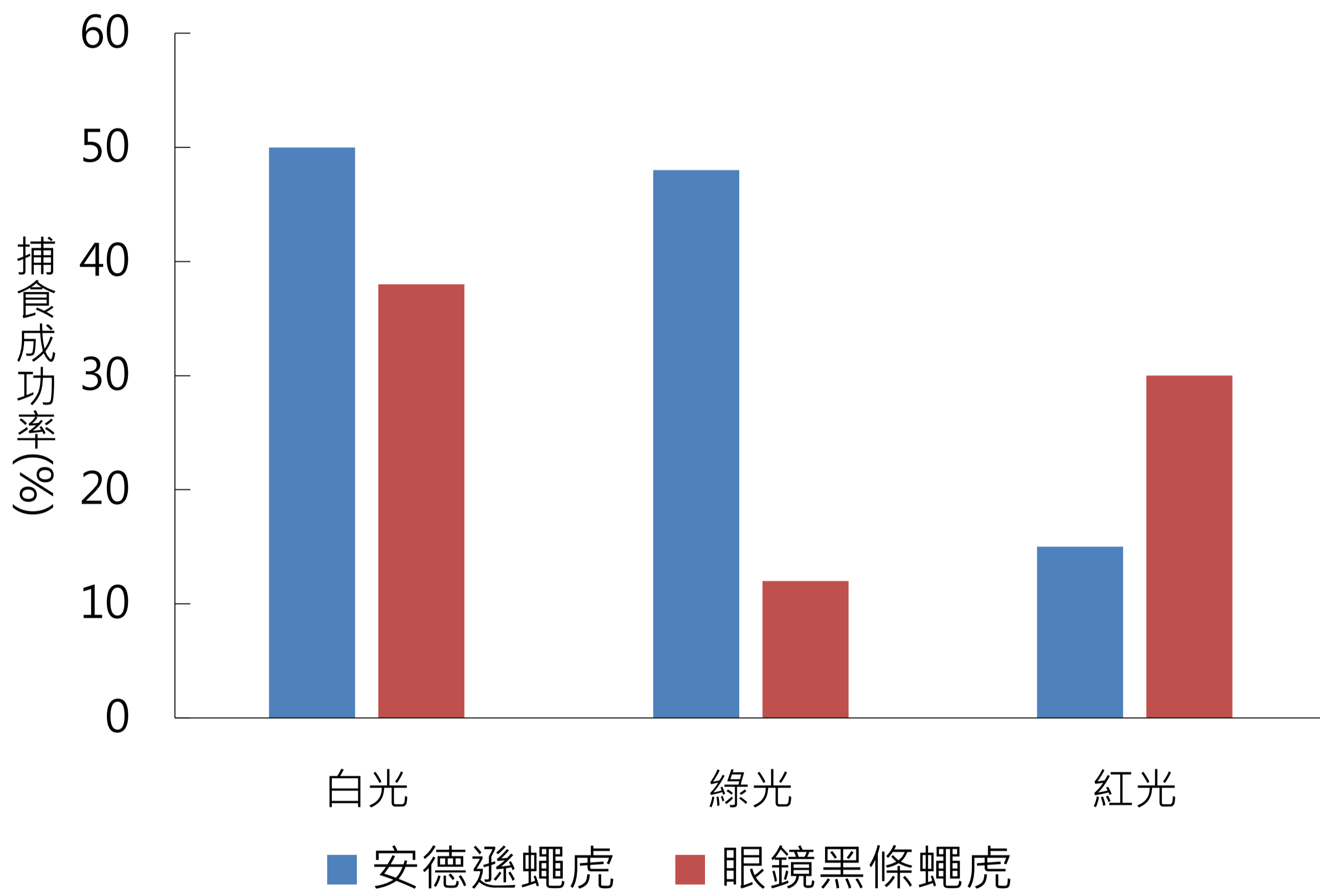


肆、研究結果

第一階段實驗—兩種蠅虎在不同色光下的撲食行為比較

色光		白光	綠光	紅光
安德遜蠅虎	捕食次數	8	23	13
	成功次數	4	11	2
	成功率(%)	50.0%	47.8%	15.4%
眼鏡黑條蠅虎	捕食次數	13	17	27
	成功次數	5	2	8
	成功率(%)	38.5%	11.8%	29.6%

色光		白光	綠光	紅光
安德遜蠅虎	撲食偏差率(%) (Mean ± SEM)	5 ± 3	7 ± 0	9 ± 3
眼鏡黑條蠅虎	撲食偏差率(%) (Mean ± SEM)	3 ± 3	16 ± 5	14 ± 5

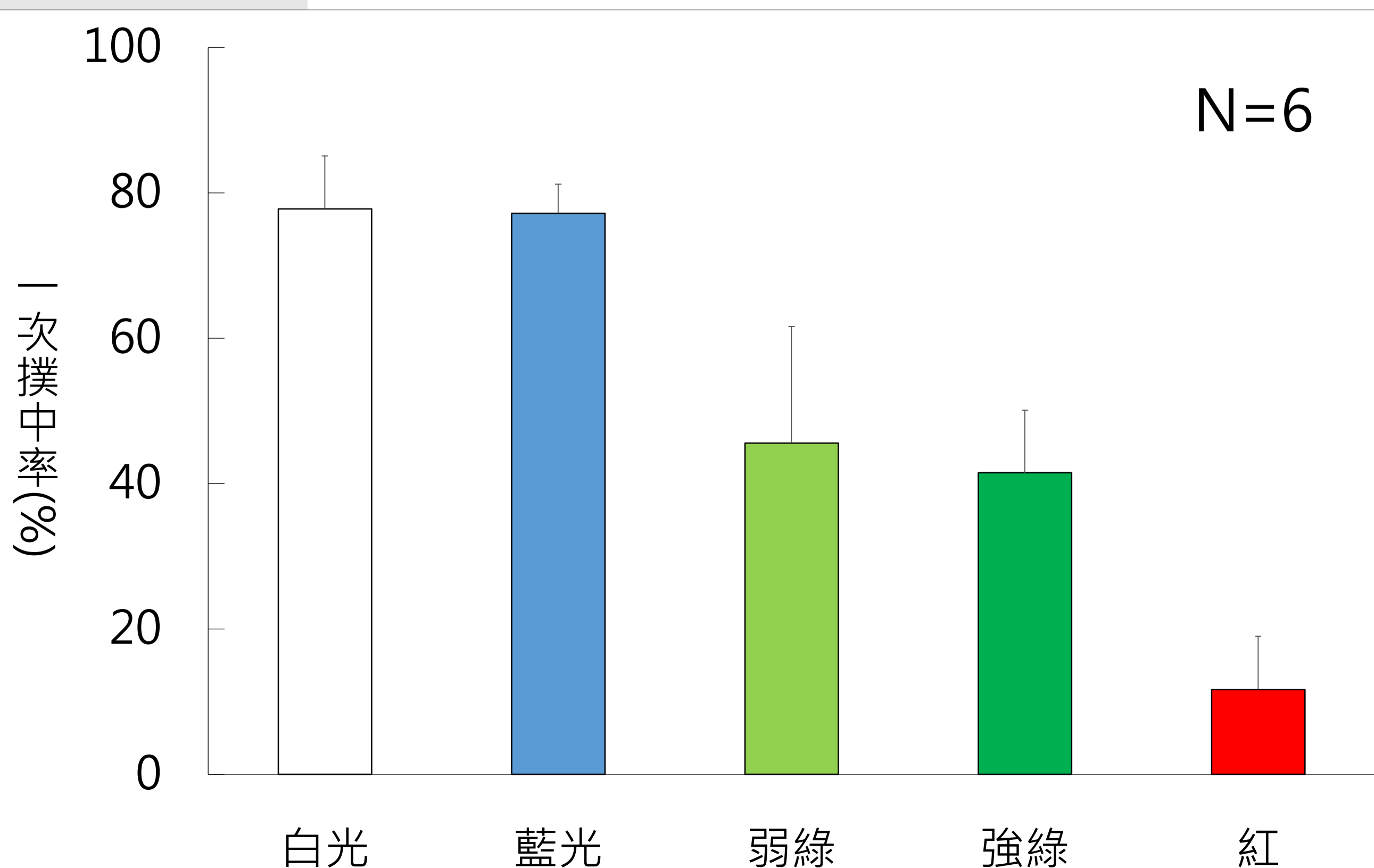


從捕食成功率〈左〉與撲食偏差率〈右〉的兩種實驗結果可以發現，安德遜蠅虎的行為表現符合Nagata(2012)研究的假設，在白光和綠光下的表現沒有差異，而在紅光下則難以準確撲食；而眼鏡黑條蠅虎在綠光和紅光的表現都不如在白光時的表現，顯示兩種蠅虎在不同色光環境下進行的撲食行為是有所差異的。

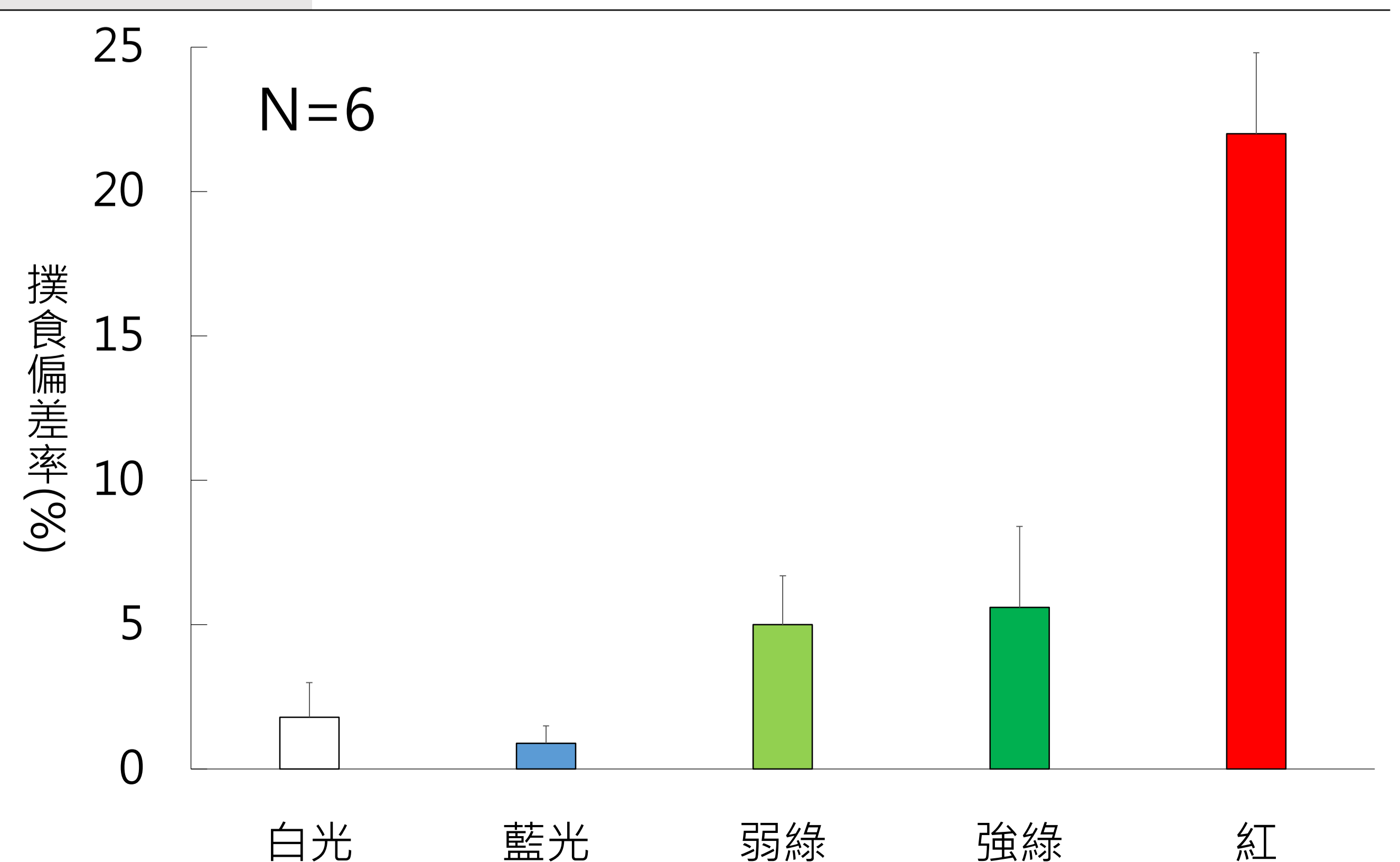
第二階段實驗—眼鏡黑條蠅虎能夠有效撲食的色光環境探討

- 針對第一階段眼鏡黑條蠅虎的實驗結果，我們做了兩個假設：(1)會不會是LED燈不夠亮？(2)會不會是藍色才是合適的色光？以第一階段實驗為基礎之下，我們在第二階段實驗時修改和增加了一些細節。
- 首先，針對第一個假設，我們把控制變因從燈泡數一樣改成色光照度一樣，也提高了暗箱內的亮度以符合眼鏡黑條蠅虎平常活動的環境亮度〈白、藍、綠、紅皆為1500 lux〉，還另外增加了更強的綠光〈4500 lux〉。針對第二個假設，我們新增了藍光〈峰值波長470 nm〉做為新的環境色光來進行實驗。
- 我們將原本的“捕食成功率”改成了“一次撲中率”，來更精確地蠅虎撲食的精準度。

色光	白光	藍光	弱綠光	強綠光	紅光
一次撲中率(%) (Mean ± SEM)	78 ± 7.3	77 ± 4	46 ± 16	41 ± 8.6	12 ± 7.3



色光	白光	藍光	弱綠光	強綠光	紅光
撲食偏差率(%) (Mean ± SEM)	1.8 ± 1.2	0.9 ± 0.6	5.1 ± 1.7	5.6 ± 2.8	22 ± 2.8



第二階段實驗中的“一次命中率”和“撲食偏差率”我們可以推知，適合眼鏡黑條蠅虎撲食的色光環境為：白光 \geq 藍光 $>$ 綠光 $>$ 紅光，而在更高亮度強綠光下的表現與一般亮度弱綠光下的表現並無明顯不同，顯示亮度應該不是影響眼鏡黑條蠅虎撲食準確的關鍵，色光才会有較為明顯的影響。

伍、討論

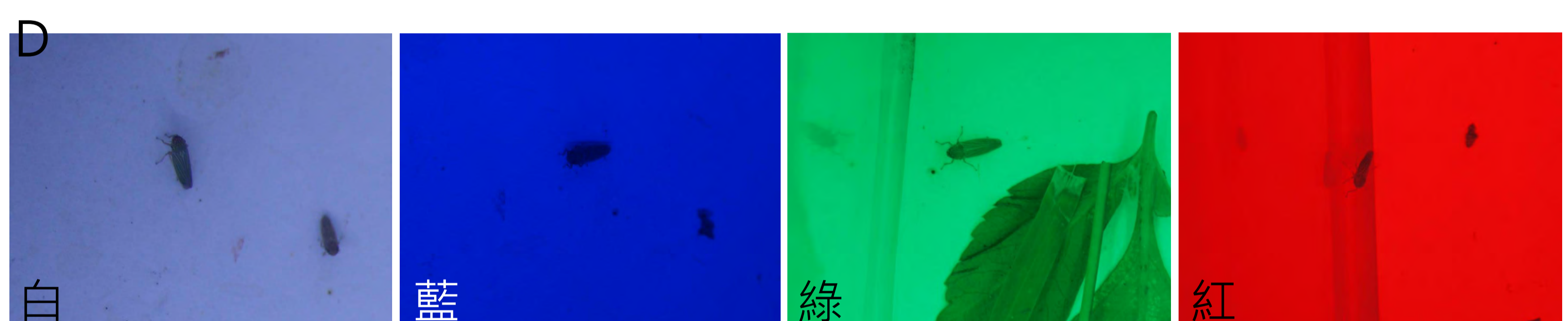
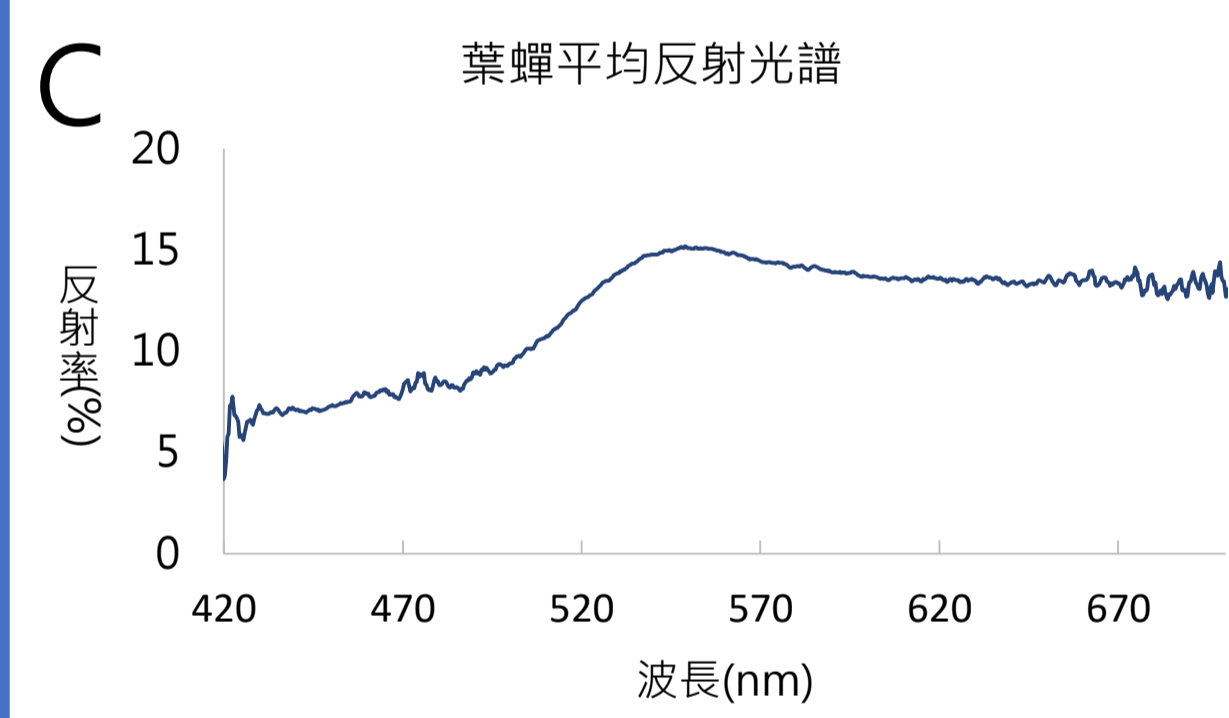
兩種蠅虎在不同色光下的撲食差異

兩個階段的實驗後，我們可以將兩種蠅虎對於不同色光的反應整理成以下表格：

安德遜蠅虎			
適合	適合	不適合	無資料
白	綠	紅	藍
適合	尚可	不適合	適合

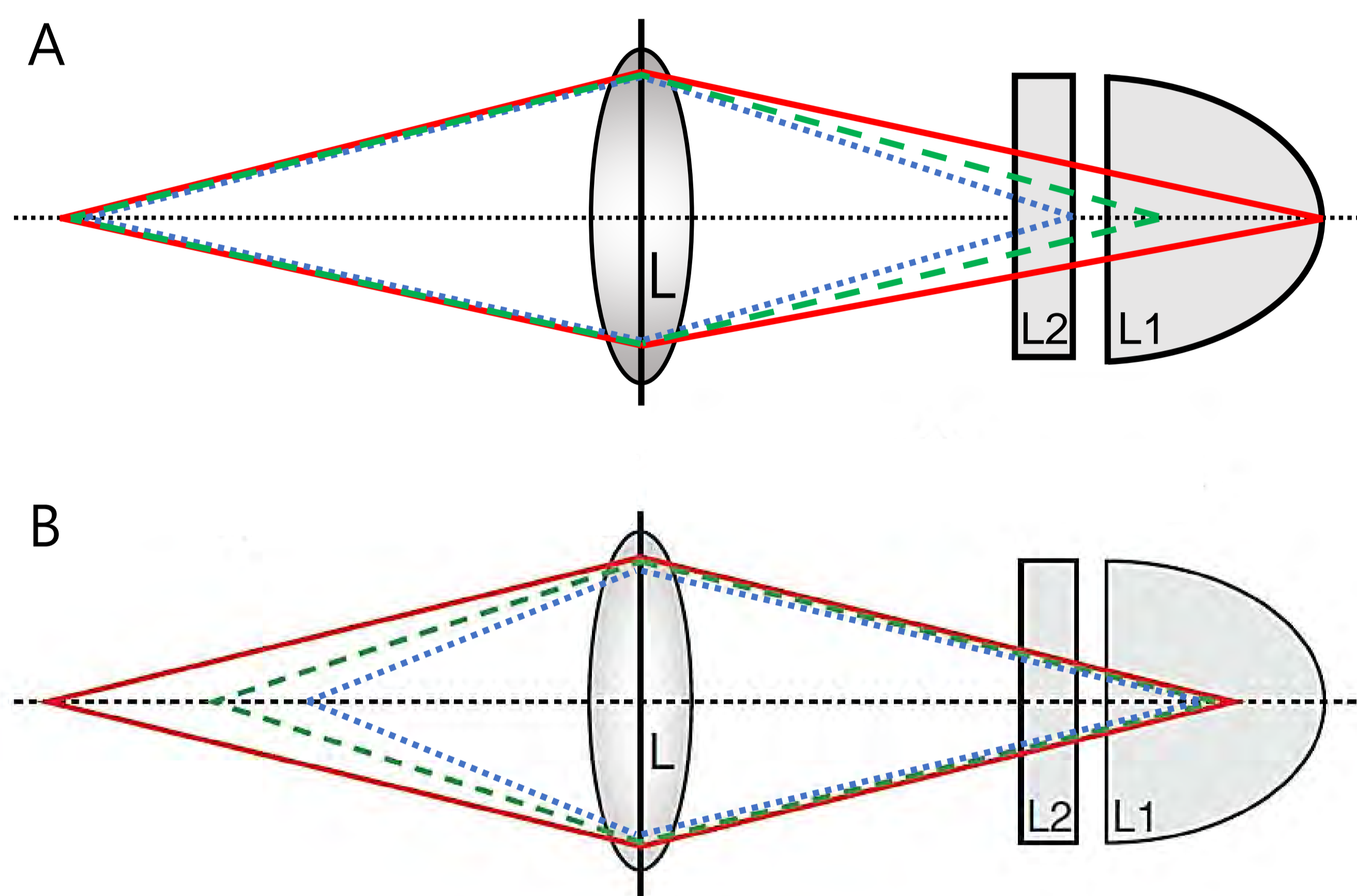
眼鏡黑條蠅虎			
適合	適合	不適合	無資料
白	綠	紅	藍
適合	尚可	不適合	適合

二. 若眼鏡黑條蠅虎是利用綠光來測量距離的話，該如何解釋藍光下能夠成功撲食，而綠光下表現比較差的現象呢？根據 Nagata (2012) 的研究假設，藍光會使蠅虎誤判獵物距離較遠，而拉長跳躍距離（如右圖B），但這點無法從我們的研究得知，然而較長的跳躍距離不一定會影響到蠅虎撲食到獵物的成功率。綠光表現不佳的可能原因或許是葉蟬在綠光下與背景的對比度較差（如下圖C和D），因而導致蠅虎誤判距離。



眼鏡黑條蠅虎到底是不是用藍光來測量距離？

一. 如果是的話，那麼眼鏡黑條蠅虎視網膜上的感光細胞種類就可能主要是吸收藍光的感光細胞。而根據 Blest 在 1981 年的研究得知，藍光因為波長較短的關係，折射進眼睛內會聚焦在第二層視網膜(L2)上（下圖A），若是如此，那眼鏡黑條蠅虎的視網膜結構可能就會與安德遜蠅虎有所不同，而這些都需要另外的研究加以佐證。



陸、結論

- 一. 不同棲地的蠅虎種類組成有明顯差異，以及眼鏡黑條蠅虎和安德遜蠅虎分布偏好環境的色光亮度也有明顯差異，眼鏡黑條蠅虎通常偏好出沒在亮處，而安德遜蠅虎則偏好出沒在暗處。
- 二. 由第一階段實驗可知，兩種蠅虎在紅光下捕食成功率大幅下降，撲食偏差率也明顯提升。而眼鏡黑條蠅虎連在綠光下的捕食成功率也比白光要來的低，且撲食偏差率也明顯提高。
- 三. 由第二階段實驗可知，藍光是最適合眼鏡黑條蠅虎進行撲食的色光，牠們在純藍光下的表現與白光並無差異；即使提升綠光的亮度依舊無法讓眼鏡黑條蠅虎更有效地撲食；紅光則是最不適合眼鏡黑條蠅虎進行撲食的色光環境。
- 四. 由撲食行為實驗可得知安德遜蠅虎和眼鏡黑條蠅虎對於色光的利用有所差異，可能是因為兩種蠅虎眼中視網膜上的感光細胞種類、視網膜的物理結構、眼睛內的濾鏡種類、眼角膜的濾光及折射特性有所不同，因而造成兩種跳蛛在不同色光下的撲食行為有明顯差異。

柒、參考文獻

- 一 Nagata, T., Koyanagi, M., Tsukamoto, H., Saeki, S., Isono, K., Shichida, Y., Tokunaga, F., Kinoshita, M., Arikawa, K. and Terakita, A. (2012). Depth perception from image defocus in a jumping spider. *Science* (335), 469-71.
- 二 Maddison, W. P., Li, D., Bodner, M., Zhang, J., Xin Xu, Liu, Q., & Liu, F. (2014). The deep phylogeny of jumping spiders (Araneae, Salticidae). *ZooKeys*, (440), 57 - 87.
- 三 維基百科-蠅虎科 <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E8%A0%85%E8%99%8E%E7%A7%91>
- 四 華人百科-跳蛛介紹 <https://www.itsfun.com.tw/%E8%A0%85%E8%99%8E%E8%B7%B3%E8%9B%9B/wiki-3557513-5883992>
- 五 科學網論文：蠅虎眼神好辨色有絕活 <http://news.sciencenet.cn/htmlpaper/20156312585562836468.shtm>
- 六 虛擬實境~安德遜蠅虎撲食模式(中華民國第 55 屆中小學科學展覽會)
- 七 活躍於光明的闇獵人 --- 安德遜蠅虎(中華民國第四十四屆中小學科學展覽會國中組)
- 八 安德遜蠅虎的生活史及求偶行為之研究(林明杰東海碩論1997)
- 九 跳蛛眼角膜奈米結構之生物光學研究(游家豪成大碩論2017)
- 十 A.D. Blest, R.C. Hardie, P. McIntyre, and D.S. Williams. (1981). The Spectral Sensitivities of Identified Receptors and the Function of Retinal Tiering in the Principal Eyes of a Jumping Spider. *J Comp Physiol* (145), 227-239.