

作品名稱：一線曙光是昆蟲逃生的契機或死亡的陷阱

高中組 生物科 第三名

縣市：台北市

作者：黃上銓

校名：台北市立麗山高中

指導老師：秦嗣德

關鍵詞：日週律動、固定動作模式 FAP、趨性Taxis



一線曙光是昆蟲的逃生契機或死亡陷阱

作品摘要：

無意間觀察到昆蟲〔蜜蜂、蝴蝶、蜻蜓、蒼蠅...等〕誤闖入玻璃屋竟然不會尋原路或旁邊的出口逃生，反而往位於屋頂上方的玻璃鑽或衝，why？

由陽光光譜開始研究，藉由氙燈及分光儀測定「單一波長及光強度對蜜蜂趨光反應的影響」，再設計一套「明/暗對比差值試驗」，找出啟動趨光反應開關的最關鍵因素——「光的明/暗對比差值的規律性」，並發現蜜蜂的趨光反應明暗對比差值在暗適應呈等差級數，在光適應呈等比級數，有兩套機制交互應用，接著證實「蜜蜂對各波長趨光感度強弱與日週律動(Circadian rhythm)有密切關連」，同時發現蜜蜂在18:00回巢後其趨光機制有關閉現象，此與其生理時鐘的恆定性相符合。另外發現日晝期間蜜蜂對紫外光一直保持極高感度，合理推測，其係演化留下警戒逃生的本能，爲了由生物內部生理反應來印證上述外部刺激影響生物行爲試驗所得結果，又一頭栽進「視神經電生理」領域的實驗，發現蜜蜂複眼上方部位對UV感度特別靈敏，最後再回歸當初迷惑的地點〔玻璃屋現場〕，進行一連串再確認的行爲試驗，終於找到答案。

蜜蜂〔昆蟲〕爲什麼往屋頂方向的玻璃衝或鑽呢？

綜合實驗結果判斷如下：

當蜜蜂飛行→遇阻礙物，且不适合生存→開始逃生→FAP反應，趨向陽光較亮處→再遇阻礙物→FAP反應，再趨向陽光較亮處，如此反覆進行。只要有明/暗情況存在，亮處變成一刺激源，除非把刺激源消除或移位，否則蜜蜂一受到刺激一定會有FAP反應，一直到超越阻礙物或體力衰竭而死亡。

當蜜蜂〔昆蟲〕飛行遇阻礙物無法順利通過或離開，且該環境無食物補充體力，留久必死，因此警覺系統發出必須逃生的反應，蜜蜂會運用其趨向陽光的本能〔演化結果〕作逃生工具尋找生機，至於觸動“趨光”反應的開關，繫於明/暗對比，每當光有明/暗對比差時，蜜蜂就會有趨向光度較強〔亮〕之處的現象，此反應係一種固定動作模式(Fixed Action Pattern[FAP])，FAP是物競天擇演化結果的一種天生能力，在許多動物表現例子中，常會有無盡似重覆性的機械動作。至於趨光性的趨性(Taxis)是定向運動，會呈現或多或少且無意識的朝向或遠離某些刺激。

本研究證實〔日行性昆蟲〕蜜蜂需要逃生時會利用“趨向陽光較亮處”的本能作逃生工具，而且依紫外光的強弱對比差作趨光逃生方向的主要依據。

因此，一線曙光是昆蟲的逃生契機而非死亡陷阱，有陽光的地方就有紫外光，紫外光愈強，表示其被陽光直接照射而沒有被阻隔，亦即屬於較空曠，安全的空間，換句話說，蜜蜂會利用陽光中的紫外光強弱作爲判別四周環境是開闊或被隔絕。

作品名稱：一線曙光是昆蟲的逃生契機或死亡陷阱

一、研究動機

白天，昆蟲誤闖入玻璃屋，無視旁邊出口，反而一直往上方玻璃盲目衝撞，Why？

二、研究目的

〔一〕找出昆蟲往玻璃屋上方的玻璃盲目衝鑽的最終原因(Why？)

大膽提出假說：

1. 昆蟲以趨光反應作為逃生工具？
2. 陽光經玻璃色散，造成昆蟲視覺錯亂？
3. 太陽定位導航，往太陽方向逃生？
4. 背地性，飛行昆蟲天生本能？

〔二〕試圖瞭解引起昆蟲此種特定行為的機制，亦即直接原因(How？)

動腦思考及動手設計：

- | | |
|-----------------|-----------------|
| 1. 模擬玻璃屋行為實驗 | 6. 紫外燈光明／暗對比差實驗 |
| 2. 單一波長光強度實驗 | 7. 夜間趨光反應實驗 |
| 3. 日週律動實驗 | 8. 玻璃屋確認對照實驗 |
| 4. 視神經電生理實驗 | 9. 玻璃屋不逃生不趨光實驗 |
| 5. 鹵素燈光明／暗對比差實驗 | |

三、研究設備及器材

- | | |
|---|--|
| 〔一〕電腦二台 | 〔七〕視神經電生理設備一套 |
| 〔二〕氬氣燈一具 | 〔八〕攜帶式分光光度計一具 |
| 〔三〕分光儀一具 | 〔九〕無段可調式鹵素燈兩具 |
| 〔四〕玻璃屋一幢 | 〔十〕長方型(30cm×30cm×60cm)黑色隧道一座 |
| 〔五〕光照度計一具 | 〔十一〕紅外線廣角攝影機二具，觀測用Monitor二具 |
| 〔六〕中性密度濾光鏡 | 〔十二〕仿玻璃屋二座(40cm×30cm×30cm)(30cm×45cm×30cm) |
| 〔十三〕紫外燈兩具，紫外光防護眼鏡兩個，紫外燈輻射偵測儀一具 | |
| 〔十四〕活動卡溝式蟲盒子九個，可與隧道兩端溝槽結合(30cm×30cm×15cm) | |
| 〔十五〕供試驗昆蟲：蜜蜂(<i>Apis mellifera</i> Ligustica)中興大學昆蟲系實驗養蜂場，台中品系。工蜂〔外勤蜂〕♀。 | |

四、研究過程

〔一〕見習觀察蜜蜂的生活行為，飼養及取樣方法。

〔二〕構思，設計，制定本實驗的方法

《一》「模擬玻璃屋，在太陽光下，測試昆蟲趨光反應實驗操作程式表《一》」

過程：1. 以(長40cm×寬30cm×高30cm)之玻璃箱(玻璃厚度5mm)，上有一活動玻璃頂蓋，另備妥白色紗網。

2. 備妥供試蜜蜂20隻，放入玻璃箱中

3. 將玻璃箱置於陽光下，上方以活動式玻璃蓋或白色紗網，以不同方式變化蓋上。

4. 觀察供試昆蟲的行為。

5. 分別在上方及四週置放不透光之遮陽物品，觀察供試昆蟲的趨光反應，記錄之。

《二》「暗適應下，昆蟲對不同單一波長光的趨光反應實驗操作程式表《二》」

過程：1. 實驗室溫度保持在 $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ ，黑暗狀態，將裝有供試驗昆蟲的蟲盒子與長方形隧道距光源120cm距離那端的卡溝結合，另一空的蟲盒子則與距光源60cm處的卡溝結合，因蟲盒子的厚度15cm，所以結合後蟲盒子的紗網距光源45cm。

2. 打開氬氣燈，並以電腦程式控制氬氣燈光源經分光儀的柵門投射出各波長的單色

光或紫外光，經圓形可調式中性密度濾光鏡，調整光的強度，投射入空的蟲盒子紗網，再經長方形隧道，最後投射到放置供試昆蟲的蟲盒子紗網上。

3. 抽掉供試昆蟲的蟲盒子之活動木板，讓昆蟲接受光的刺激。
4. 將圓形可調式中性密度濾光鏡上的刻度調至最暗處，讓昆蟲接觸到光的強度由最弱開始測試再依其反應，逐漸調至最亮處。
5. 透過隧道內裝置紅外線廣角攝影機拍攝昆蟲對各種不同波長、不同亮度的趨光反應，並由外接螢幕觀察紀錄。
6. 當供測試昆蟲接受光刺激〔由最暗開始〕開始計時20秒，若有超過供測試昆蟲的半數有趨光行為發生並超過隧道中線〔30cm處〕，即判定該供測試昆蟲對該波長、該亮度有趨光反應，記錄之。若在20秒內無趨光反應，則繼續調中性密度濾光鏡 10° 讓光逐漸加強亮度，再觀察記錄，直到昆蟲成功完成趨光反應動作，即停止該波長的實驗，若中性密度濾光鏡已調至最亮，而供測試昆蟲仍無趨光反應，則表示該供測試昆蟲對該波長、該強度無趨光反應，則實驗即停止，換另外一組波長，重新由最暗刻度開始操作。
7. 以攜帶式分光光度計依第8步驟記錄所得資料，重新測其光強度，記錄之，並計算出各波長引起趨光行為的亮度相對值。

《三》「探討昆蟲的日週律動與趨光反應的關係實驗操作程式表(三)」

過程：1. 供試昆蟲蜜蜂為日行性昆蟲，通常在早晨5:30 - 6:00，工蜂即開始出外覓食採蜜。傍晚約6:00-6:30，工蜂即陸續回巢，不再外出。因此其光週期為白天：夜間=12:12(18:00-06:00為黑暗期)。

2. 蜜蜂白天時間，分別於06:00, 08:00, 10:00, 12:00, 14:00, 16:00, 18:00依〔二〕《二》「昆蟲趨光反應實驗操作程式表〔二〕」作實驗，並記錄之。

《四》「以視神經電生理技術探討為何蜜蜂日晝間對紫外光一直保持高感度，實驗操作程序表〔四〕」

過程：1. 備妥供試昆蟲。自實驗養蜂場，每次取1-2隻蜜蜂〔外勤工蜂〕，攜回實驗室放入冰箱冷凍庫約1~2分鐘，將其冰昏，將已冰昏蜜蜂之六隻腳與翅膀全部剪除。

2. 將蜜蜂以蜂蠟固定於一V型台，並以蠟固定頭、胸部位，防止其扭動。

3. 以顯微鏡觀察，在蜜蜂複眼上開刀，切出一小三角形缺口，供不鏽鋼電極插入。

4. 另在蜜蜂身體開一小洞，將連接固定台之銀線插入身體，形成迴路。

5. 將不鏽鋼電極插入蜜蜂複眼，打開示波器電源。

6. 以藍、綠、紫外光三種不同二極體光源，以間歇式每10秒刺激蜜蜂複眼一次，觀察示波器之波形，若有明顯反應，將光源位置固定。

7. 實驗室溫度控制在 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ ，保持全暗條件，操作時間08:00~18:00。另於21:00~22:00測試夜間ERG反應，將實驗結果記錄分析。

《五》「探討在暗適應/光適應，昆蟲對鹵素燈光的明暗對比差與趨光反應的關係，實驗操作表(五)」

過程：1. 自實驗養蜂場，每次取20隻蜜蜂〔外勤工蜂〕，攜回實驗室〔行程需約10分鐘〕，置於黑暗環境15分鐘，使供試驗昆蟲適應黑暗環境，實驗室溫度保持在 $25 \pm 2^\circ\text{C}$ ，由黑暗狀態開始進行實驗。

2. 將裝有供試驗昆蟲的蟲盒子與長方形隧道的卡溝結合，另一端與空的蟲盒子結合，左右兩側各與光源距離60cm。

3. 左側光源保持最暗，右側光源開始微調亮度，至蜜蜂開始有趨光反應至80%以上數目移動至右側蟲盒子上，以照度計(LUX)測量左右兩側照度差值，記錄之。

4. 將左側光源調至與右側光源同樣照度，觀察蜜蜂之趨光情形，繼續調左側光源亮度，直到右側蜜蜂有超過80%數目移至左側，以照度計(LUX)測量左右兩側照度差值，記錄之，如此反覆進行，直到光源最亮為止。

5. 本次實驗之光源採用2個AC，90W鹵素燈，光譜含少量紫外光，光波波長自360nm至700nm。

6. 本實驗計算明/暗對比差採用Michelson contrast公式，

$$C = (I_{\max} - I_{\min}) / (I_{\max} + I_{\min})。$$

《六》「紫外光的明/暗對比差與趨光反應的關係，實驗操作程式表(六)」

過程：1. 依(二)《五》「昆蟲對光的明/暗對比差與趨光反應的關係，實驗操作程序表(五)」之過程1~6進行實驗。

2. 僅將光源由鹵素燈改為紫外光燈及測量儀由照度計(LUX)改為紫外線輻射偵測儀Radiometer(Irradiance $\mu W/cm^2$)。

3. 本次實驗之光源採用2個AC，100AP 115V 60Hz 2.5A紫外燈。

《七》「夜間趨光反應實驗，操作程式表(七)」

過程：1. 在日晝期間取用工蜂的實驗養蜂場旁，架設各兩盞紫外燈，及鹵素燈，對準其中一箱蜂巢。

2. 於夜間18:30，分別以紫外燈，鹵素燈，紫外燈+鹵素燈三種方式，對準蜂巢，並將燈打亮。

3. ①將燈光對準蜂巢出入口 ②把蜂巢上蓋掀開移走，讓整個蜂脾暴露 ③對蜂巢內部噴煙造成驚慌 ④左、右、上、下、震動整個蜂巢 ⑤在蜂巢旁堆木材點火等方式。

4. 上述2與3之步驟交互替換，觀察蜜蜂的趨光反應及逃生時是否會向光源聚集。

5. 實驗人員須身著防護面罩、長統手套、領口褲腳均須束緊，以免遭受蜂群圍攻。

《八》「玻璃屋對照實驗(一)」

過程：1. 自菜園收集蝴蝶20隻，蜜蜂20隻，釋放入玻璃屋，觀察其飛行方向與行為。

2. 當昆蟲衝向屋頂上方玻璃時，以大型帆布由屋頂外面覆蓋，方式分成：①全面覆蓋 ②最亮處向較暗處移動覆蓋 ③僅留一小部份透光，其餘全覆蓋。

3. 另以紫外線輻射偵測儀及光照度計測量玻璃屋四角落之紫外線強度及光照度。

《九》「玻璃屋不逃生不趨光與逃生趨光對照實驗(一)」

過程：1. 將玻璃屋內原有桌椅擺設全部移出，至附近菜園移植蝴蝶、蜜蜂之蜜源植物。

2. 將玻璃屋佈置成適合蝴蝶、蜜蜂...等來訪環境觀察來訪昆蟲行為記錄對照比較。

3. 關閉原固定位置門窗/另開啓其他位置門窗，觀察記錄對時比較。

五、研究結果

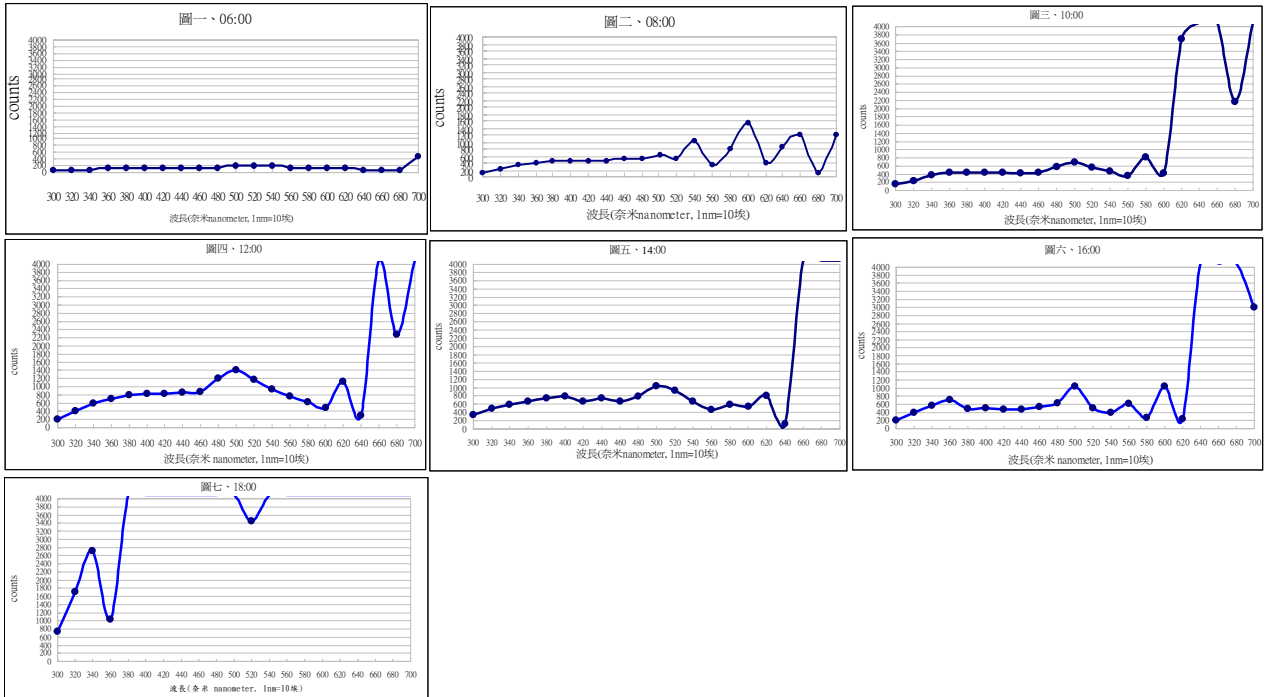
(一)

	玻璃箱內置20隻蜜蜂，開口以玻璃、網、不透光遮蓋物，做各種變化。	蜜蜂針對各種環境的變化所產生的趨光行為。
1.	置於陽光下〔斜射〕，上蓋為玻璃。	20隻蜜蜂全部往上，並聚集在角落大部份偏向陽光較強處。〔照片8〕
2.	置於陽光下〔斜射〕，上蓋為白色紗網。	20隻蜜蜂全部往上，並聚集在角落大部份偏向陽光較強處。〔證實蜜蜂趨光與玻璃材質無關〕。
3.	置於陽光下〔斜射〕，上蓋及三側面均以保麗龍遮住，僅留背陽側面透光。	20隻蜜蜂全部趨向背陽透光面，亦即往僅有光線的背陽側面，且無往上現象。〔證實以太陽定位不成立〕。
4.	置於陽光下〔斜射〕，上蓋及四側面均以黑紙遮住，僅留底部透光。	20隻蜜蜂全部往底部移動。〔證實背地性不成立〕。

(二)蜜蜂對陽光組成分，各種單一波長的“臨界趨光點”所需光強度之實驗

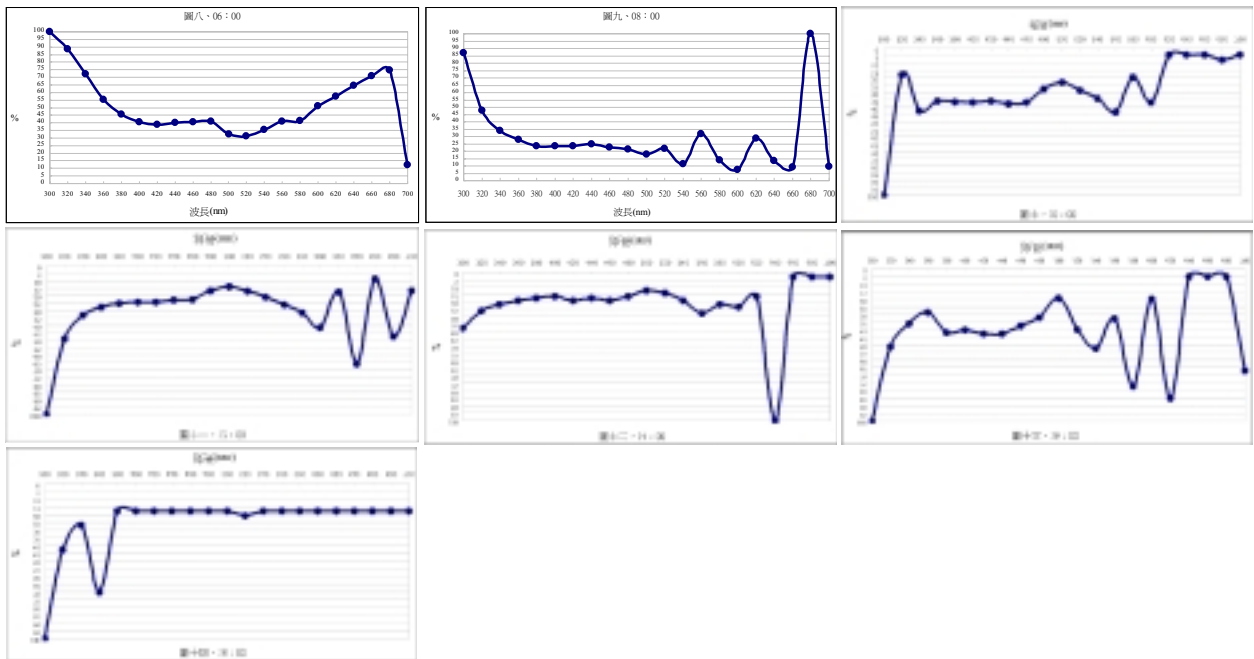
(三)蜜蜂於06:00、08:00、10:00、12:00、14:00、16:00、18:00不同時刻，對不同波長呈現趨光反應〔臨界趨光點〕時，該波長的需光強度實驗。結果如下：

圖一~圖七 蜜蜂在不同時刻，對各波長的臨界趨光點需光強度相對比值 (counts)

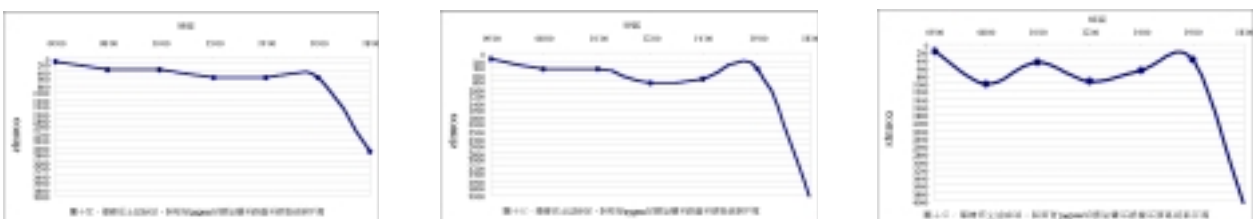


圖八~圖十四將圖一~圖七以縱軸倒數計算，可顯示蜜蜂於06：00、08：00、10：00、12：00、14：00、16：00、18：00不同時刻，對不同波長的趨光反應敏感度〔感受度〕比較圖。

圖八~圖十四 蜜蜂在不同時刻，對各種波長的趨光感應強度〔靈敏度〕相對比值 (%)

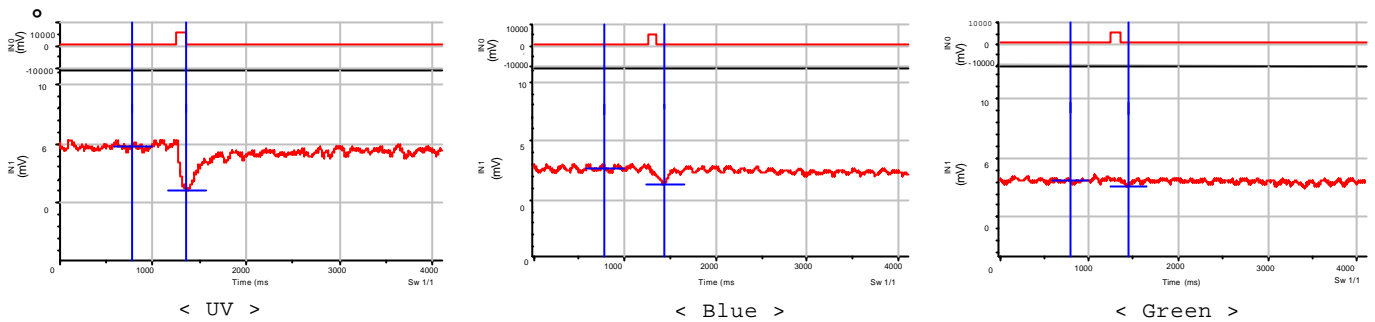


圖十五至圖十七係取蜜蜂視覺神經對335nm(UV)、435nm(BLUE)、540nm(GREEN)有較強感應的三種波長，在不同時刻的臨界趨光點所需光強度相對比較圖

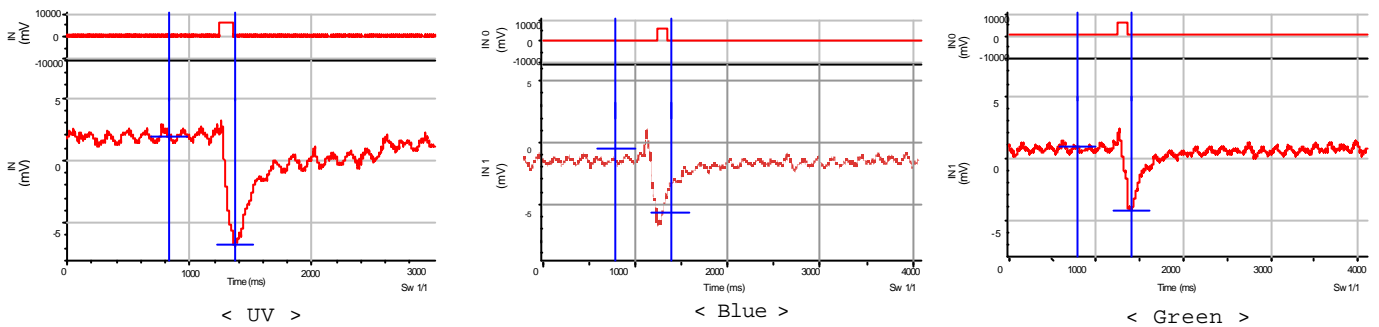


(四) 運用視神經電生理技術印證蜜蜂趨光行為實驗所發現特殊現象：「蜜蜂於日晝期間對紫外線一直保持極高敏感度」。

圖十八~圖二十在暗適應，日晝間，蜜蜂複眼上方部位對UV、BLUE、GREEN三種相等亮度的二極體光源呈現刺激反應之ERG。〔發現蜜蜂複眼上方部位於日晝間，對UV光之ERG特強〕



圖二十一 圖二十三 在暗適應下，夜間21:00，蜜蜂複眼對UV、BLUE、GREEN三種相等亮度二極體光源呈現刺激反應之ERG。

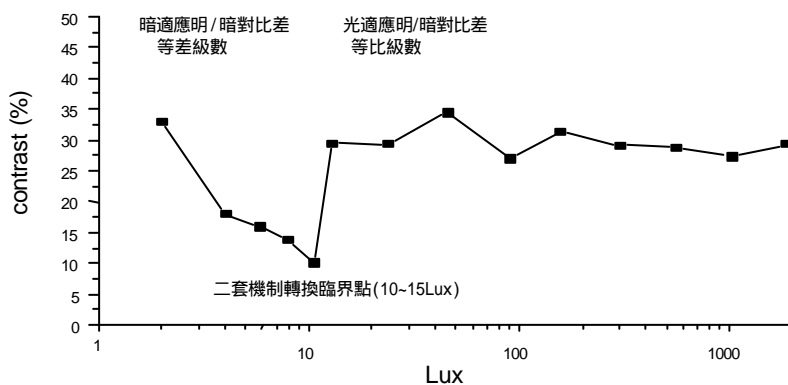


(五) 利用鹵素燈的明/暗對比差，找出啟動蜜蜂趨光反應開關的規律性。

昆蟲趨光反應的影響因素：「光的波長」、「光的強度」、「日週律動」、「光的明/暗對比」...等，其中以「光的明/暗對比」為啟動趨光動作的關鍵。

結果如下：

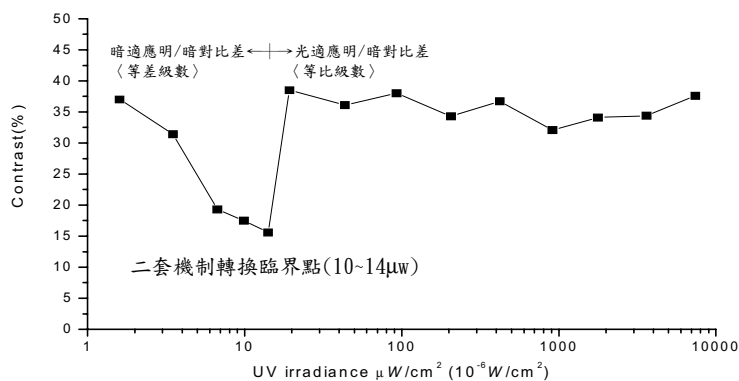
圖二十四、蜜蜂在不同的光照度下的趨光反應與鹵素燈明/暗對比差的互動關係 (08:00~18:00 十一次數據的平均值)



(六) 以紫外燈光明/暗對比差實驗，對照鹵素燈光明/暗對比差實驗比較分析其異同。

為求證蜜蜂是否會利用陽光中的紫外光明/暗對比差作趨光逃生依據，特再追加作單獨以紫外光作明/暗對比差趨光反應實驗。

結果如下：圖二十五蜜蜂的趨光反應與紫外燈光明/暗對比差的互動關係。



由圖二十五紫外光明/暗對比差與圖二十四鹵素燈光明/暗對比差比較，發現二者非常類似，均有暗適應〈等差級數〉、臨界點、光適應〈等比級數〉之現象，此結果令人振奮。

(七)以UV燈與鹵素燈強制對蜜蜂照射，觀察其趨光反應，以印證蜜蜂於夜間 18:00以後，生理時鐘會關閉其趨光反應機制的推測，結果如下：

光源 行動	UV燈	鹵素燈	UV燈+鹵素燈
照射蜂巢箱出入口	毫無反應	毫無反應	毫無反應
掀開蜂巢箱上蓋 燈光直接照射	稍有部分蜜蜂騷動	毫無反應	毫無反應
對蜂箱內噴煙 燈光直接照射	上面部分蜜蜂有驚慌現象，無趨光	無趨光反應	無趨光反應
強力震動蜂箱 燈光直接照射	約1/2蜂群驚慌但並無飛起或趨光反應	約1/2蜂群驚慌並無趨光反應	約1/2蜂群驚慌並無趨光反應
蜂箱旁生火 燈光直接照射	全箱蜂騷動仍無飛起或趨光反應	全箱蜂騷動仍無飛起或趨光反應	全箱蜂騷動仍無飛起或趨光反應

(八) 回歸玻璃屋，依實驗室及前置實驗所得結果，實地求證確認。

結果如下：《一》求證及確認背地性與太陽定位假說是否成立

先後釋放	先釋放蝴蝶、蜜蜂入玻璃屋	後釋放蝴蝶、蜜蜂入玻璃屋
覆蓋變化		
屋頂上方玻璃完全無覆蓋物	全部往上較亮處〔並非太陽方向〕衝。〔證實與太陽位置無關〕	全部往上較亮處〔並非太陽方向〕衝。〔證實與太陽位置無關〕
屋頂上方玻璃完全覆蓋	毫不猶豫，立刻離開上方玻璃，轉向往下移動，尋找次亮處〔只要遮住陽光，亦即消除刺激源，就不會有FAP反應，也不再一直往上衝〕	不再往上衝，直接往立面玻璃較亮處飛〔背地性不成立〕
屋頂上方玻璃由最亮處漸向暗處覆蓋	隨著覆蓋物移動，往次亮，再往次亮處，最後往下移動〔證實與明暗對比有關〕	尋找釋放當時最亮處衝，隨覆蓋物移動
屋頂上方玻璃僅留一小部份透光，其餘完全覆蓋	全部隨覆蓋物移動至此小部份透光處〔刺激源仍未消除，仍有FAP反應〕	先往立面玻璃飛，後漸往此小部份透光處聚集

(九)玻璃屋不逃生不趨光/逃生趨光，對照實驗。

整個思路一直陷在「趨光」、「逃生」、「陽光」...等，忽然靈機一動，若不逃生會趨光嗎？逆向思考，腦力激盪一下。

結果如下：玻璃屋內有食物、蜜蜂、蝴蝶...等昆蟲即不逃生，不再往上方玻璃衝。

當玻璃屋內變成適合昆蟲來訪的環境時，昆蟲會逐漸習慣，不再驚慌，不必逃生，因此也不必往上衝了！

唯若，食物不見了，溫溼度均不適合生存時，又恢復以曙光〔陽光〕作逃生指標了！下雨天、陰天怎麼辦？沒關係，昆蟲會以紫外線來判別逃生方向！

六、討論

綜合〈表一〉「模擬玻璃屋，測試蜜蜂趨光反應」各項實驗結果，雖然已找到「昆蟲面臨需要逃生時，會運用“趨光”本能作其逃生工具」的答案圖八至圖十四係由圖一至圖七以倒數方式呈現蜜蜂於 06:00、08:00、10:00、12:00、14:00、16:00、18:00不同時刻，對不同波長的趨光反應敏感度（感受度）比較圖，蜜蜂對於300nm~500nm的趨光感受度保持極強敏感度，也較穩定，一直到18:00以後，蜜蜂的生理時鐘呈現不再外出活動，此時蜜蜂對300nm~500nm的趨光感受度已降到最低，對於波長（500nm~700nm）蜜蜂在白天的趨光感受度表現很弱，尤其對700nm紅光感受最遲鈍，此與一般認為蜜蜂對紅光無視覺反應的說法接近，但此係以在大白天有陽光情況下，蜜蜂對紅光感應遲鈍而言才成立，若日晝期間在黑暗環境下，依本實驗結果，蜜蜂對紅光仍有趨光行為，關鍵在於光源的亮度是否達到足夠誘引的趨光臨界點，所以影響蜜蜂趨光行為主要因素除了光波長，日週律動外，光的強度及光的明/暗對比才是最重要的關鍵因素，任何針對昆蟲趨光性的實驗研究均不可忽略此二因素。

綜合〈表二〉各項基礎實驗研究結果，已得到相關數據並證實蜜蜂的趨光反應主要影響因素，包括：「光的波長」、「光的強度」、「光的明/暗對比」、「日週律動」...等，同時。

綜合圖十八~圖二十三，視神經電生理實驗，已成功證實蜜蜂的複眼對UV感度（無論行為或生理實驗）均保持最靈敏狀態。

由圖二十四數據，得到下列啓示：

鹵素燈明/暗對比差實驗，蜜蜂趨光反應的對比差值，在10~15LUX之前成“等差數列”，之後成“等比數列”。經分析發現：10~15LUX之前為暗適應；10~15LUX之後為光適應。10~15LUX為兩套光視覺轉換機制的臨界點。

七、結論

本實驗為解惑而投入研究，獲得下列結論：

1. 證實〔日行性昆蟲〕蜜蜂逃生時會以趨光本能〔演化結果〕作逃生工具，且發現蜜蜂係以陽光中紫外光明/暗對比差作趨光方向的依據。
2. 證實影響蜜蜂趨光反應的因素有：「光的波長」、「光的強度」、「光的明/暗對比」、「日週律動」。且「明暗對比」是趨光反應最關鍵因素。
3. 證實蜜蜂逃生方向與「太陽位置」、「背地性」、「玻璃材質」無關。
4. 證實蜜蜂日晝間對陽光有正趨光性，夜間18:00以後，生理時鐘會關閉趨光反應機制，亦即蜜蜂夜間不趨光。
5. 證實複合光中的紫外光，雖然含量少，但其明/暗對比差才是啟動昆蟲趨光反應的主要關鍵。
6. 證實日晝間，蜜蜂在光適應〔陽光〕下，對紅光無視覺反應的說法，若在暗適應下不成立，因為蜜蜂仍可感應紅光，關鍵在於光強度。
7. 證實視神經電生理實驗，複眼對紫外線反應較靈敏與日週律動實驗結果一致。

- 8.發現並證實蜜蜂日晝間，對紫外線一直保持極高的感度〔靈敏度〕。
- 9.發現蜜蜂複眼上方部位對紫外線ERG反應特別強，是否特化專供逃生用途，尚待研究。
- 10發現蜜蜂光視覺反應有兩套機制轉運，暗適應的明/暗對比成“等差級數”，光適應成“等比級數”，臨界點為夜晝分界時刻，當時的照度為蜜蜂生理時鐘的起床號。

綜合上述各項實驗，合理推測並大膽提出新推論：「大部分昆蟲能感測到紫外光係演化天擇留下供逃生用的基因」，根據以上研究結果，證實“一線曙光是昆蟲的逃生契機”而非死亡陷阱，而有陽光的地方就有紫外光，紫外光越強，表示該處愈空曠愈安全，昆蟲對紫外光感應非常靈敏，因此逃生時會以紫外光強弱變化作逃生方向的依據。

蜜蜂往上方玻璃衝撞的原因：

日晝間，蜜蜂誤入玻璃屋〔5m×5m×3m高〕→發現不適合生存，欲離開→嘗試與錯誤，隨意試找出路→開始逃生，運用趨光本能，偵測陽光中的紫外光強度，趨向紫外光較強處→再遇阻礙物，FAP反應再趨向紫外光較強處，如此反覆進行。只要有陽光〔紫外光〕明/暗對比存在，亮處變成一刺激源，除非把刺激源消除或移位，否則蜜蜂一受到刺激一定會有FAP反應，一直到超越阻礙物或體力衰竭而死亡。

FAP(Fixed Action Pattern)天生固定動作模式，FAP是演化過程，經嚴厲的物競天擇淘汰留存的一種天生能力，係由稱為訊號刺激(Sign Stimulus)或稱為釋放者(releaser)的外在感官刺激所引發或釋出之反應。在許多動物表現例子中，常會有無盡似的重複性機械動作。至於趨光性的趨性(Taxis)則呈現定向式，或多或少且無意識的朝向或遠離某些刺激。(CAMPBELL 生物學P.1215.P1226)。

八、參考文獻

- 安奎、何鎧光。1997。養蜂學(89~96頁)。國立編譯館主編。華香園出版社。
- 貢穀紳。1996。昆蟲學下冊。國立中興大學農學院。
- 孫儒泳等。1999。普通生態學〔31頁〕。藝軒圖書出版社。
- 張世揚。1986基礎養蜂學(76~100頁) 淑馨出版社。
- 楊琇婷。1988。熱帶家蚊對BLB燈管之趨光性及活動周期。國立台灣大學植物病蟲害研究所碩士論文。
- 楊育年。1999。熱帶家蚊之新誘集器研究。國立中興大學昆蟲研究所碩士論文。67頁
- Bert Hölldobler & Edward O. Wilson Journey to the Ants 螞蟻・螞蟻1994 蔡承志 譯。遠流出版社。
- J.Allan Hobson Sleep 睡眠 蔡玲玲、侯建元 合譯 1997。遠哲文教基金會。

評語：

本作品針對昆蟲在不適環境下的生理反應進行探討與觀察。實驗過程之邏輯推演合理而詳細，研究成果的整合與撰寫亦能符合科學的精神表現。為一件值得鼓勵的作品。

作者簡介

我現在就讀麗山高中一年級，從國中時就對生物、物理、化學有極大興趣，從國中開始參加科展，國三參加應用科學以“利用溫室作物之光合作用削減工廠煙囪 CO² 排放量的模擬實驗”得到全國佳作，高一再接再厲參加高中組生物科以本題目得到全國第三名，將來計畫往物理、化學應用在生命科學領域的基礎研究繼續努力。