

中華民國第 65 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 生物科

030313

「蜂」塵僕僕-蜜蜂的採蜜偏好與認知行為研究

學校名稱： 高雄市立龍華國民中學

作者：	指導老師：
國二 黃晟軒	楊俊龍
國二 林冠勳	陳佳洵

關鍵詞： 採蜜行為、顏色偏好、記憶模式

「蜂」塵僕僕—蜜蜂的採蜜偏好與認知行為研究

摘要

本研究探討環境因子對蜜蜂行為的影響，涵蓋飛行方向、食物選擇、溝通呼叫及禦敵行為等方面。結果顯示，蜜蜂明顯偏好高濃度糖水，並對短波長顏色（如藍色和紫色）表現出強烈吸引，這與牠們的感光細胞特性相符。蜜蜂離巢時，展現出顯著的正趨光性，並能依靠長期記憶和空間學習優化飛行路徑，表明牠們具備高度的導航能力。有趣的是，巢口顏色對蜜蜂的出入口選擇並無顯著影響，顯示牠們依賴其他環境線索進行決策。

此外，蜜蜂在採蜜過程中可能會傳遞食物的「顏色」訊息，幫助追隨蜂更有效率地尋找蜜源，提升覓食的整體效能。

壹、前言

一、研究動機

嗡嗡嗡～～～，在校園中，蜜蜂在花叢中忙碌，尤其今年有一窩野生蜜蜂在椰子樹下，讓我們更加好奇牠們的生活。經過觀察，我們發現蜜蜂是日行性動物，並且對特定植物感興趣。為了探討蜜蜂的喜好，我們決定進行實驗，研究蜜蜂對不同食物、顏色、香氣的反應，以及牠們覓食時的溝通方式。

二、文獻回顧

(一) 物種介紹（見圖 1）

界：動物界 *Animalia*

門：節肢動物門 *Arthropoda*

綱：昆蟲綱 *Insecta*

目：膜翅目 *Hymenoptera*

科：蜜蜂科 *Apidae*

屬：蜜蜂屬 *Apis*

種：西方蜜蜂 *Apis mellifera*



圖 1 (照片來源：宏基蜜蜂生態農場)

蜜蜂主要食用花蜜與花粉，花蜜經酵素轉化為蜂蜜，提供能量；花粉則供應蛋白質，促進幼蜂成長。採蜜時，蜜蜂無意間攜帶花粉，促進授粉，對植物繁殖與農業生產具有重要影響。蜜蜂是一種高度社會性的昆蟲，以女王蜂為族群中心，負責產卵繁衍新蜂；內勤工蜂則承擔巢內幼蜂的照顧與蜂巢維護；外勤工蜂主要負責採集花粉與蜜源，三者共同合作維持族群的生存與繁榮。

外勤工蜂於白天適時外出，在巢穴 3~5 公里範圍內尋找食物，發現蜜源後返回巢穴，並透過舞蹈行為傳遞食物位置資訊，促使其他蜜蜂採集（周靜靜等，2002；Frisch, 1927）。蜜蜂的出勤行為受溫度、濕度與光照時長影響。研究顯示，20°C 至 30°C 時最活躍，超過 35°C 或低於 11°C 則活動力下降甚至無法飛行（Abou-Shaara, 2014）。低溫會增加能量消耗，使蜜蜂群聚取暖而減少外出（Winston, 1987）。相對濕度低於 50% 會降低出勤率，可能因水分蒸散率增加與花蜜濃度變化，而過高則影響蜂巢微氣候，影響幼蜂發育及工蜂效率（Human et al., 2006；Ellis et al., 2008）。

「偵查蜂」返巢後，依重力線夾角進行圓舞、搖擺舞或新月舞，傳遞蜜源資訊（Riley, 2005）。然而，「追隨蜂」首次前往新蜜源時，仍需透過慢速飛行與觀察來精確定位食物位置。蜜蜂透過共享食物資訊與環境線索來維持族群強盛，並運用太陽方位、地磁場、地面標誌物及風向進行導航（高月波、翟保平，2010）。蜜蜂能迅速返回巢穴，顯示其具備強大的空間記憶與認知地圖（Menzel et al., 2005；Wehner et al., 1996）。

蜜蜂對光線與標示物具有極高的敏感性，這有助於牠們尋找食物和回巢導航。蜜蜂的複眼中包含三種感光細胞，分別對應 339 nm（紫外光）、440 nm（藍光）和 540 nm（綠光），使得牠們能夠感知紫外線，但無法辨識紅光。蜜蜂特別偏好反射紫外光強烈的花朵，並且能夠看到許多在人類視覺中呈白色的花朵，這些花朵實際上吸收紫外光，在蜜蜂眼中呈現近紫色（Kevan et al., 2001）。光照的時間和強度會影響蜜蜂的覓食和回巢行為，蜜蜂通常在日出後開始活動，並於日落前返回（Moore et al., 1989），而光週期的變化會調節蜜蜂的生物鐘，光照時間越長，蜜蜂的活動時間也越長（Bloch et al., 2001）。此外，蜜蜂的視覺範圍涵蓋了黃、綠、藍、紫光，使牠們能夠高效地導航和辨認花朵。

光線方向亦影響飛行路徑與回巢方式。蜜蜂傾向沿太陽光方向飛行，以提高覓食效率

(Dyer, 1998)。晨間低溫時，若巢門朝東，蜜蜂易受陽光吸引提早出勤，增加凍死風險，因此蜂場巢門宜朝南（日照調節）(Seeley, 1985)。夜晚蜜蜂具趨光性，若蜂場附近有光源，可能導致迷航或損失，故蜂場夜間應保持黑暗 (Menzel & Greggers, 1985)。

關於蜜蜂的食物選擇，Frisch (1937) 提出「氣味語言學」，指出當蜜源較近時，蜜蜂主要依賴氣味定位；距離較遠時，仍需透過舞蹈行為溝通。

基於上述背景，我們設計了一系列創新實驗，深入探討蜜蜂對不同顏色與食物種類的偏好、出入方向的選擇以及對環境因子的敏感度。特別是我們聚焦於蜜蜂是否能夠透過獨特的溝通機制向追隨蜂傳遞食物顏色資訊，以提升搜尋效率。這項研究將驗證蜜蜂在食物顏色上的溝通能力，並進一步揭示其精密的訊息傳遞系統。

三、研究目的

(一) 蜜蜂的食物選擇行為

- 1.蜜蜂是否會對非蜜源植物之食物產生興趣？
- 2.蜜蜂是否能辨識並偏好特定顏色的食物？
- 3.糖水的濃度、酸度及香味來源是否影響蜜蜂的取食偏好？

(二) 蜜蜂的飛行與方向選擇

- 4.蜜蜂進出蜂巢是否具有特定的方向偏好？
- 5.蜜蜂進出巢穴時是否對特定顏色有所偏好？
- 6.巢框擺放位置是否影響蜜蜂出入蜂巢的方向選擇？

(三) 環境因子對蜜蜂行為的影響

- 7.溫度與濕度是否影響蜜蜂的出勤活躍程度？
- 8.日照時長是否影響蜜蜂當日的總工作時長？

(四) 蜜蜂的學習與記憶能力

- 9.偵查蜂是否會傳遞蜜源之顏色訊息，亦或者是具有短期記憶？

貳、研究設備及器材

本實驗包括蜜蜂對糖水濃度、顏色、天敵辨識與環境因素（溫濕度、酸鹼度）的反應，因此需準備多種設備與器材，以確保數據收集的完整性與精確度。以下為實驗過程中使用的主要設備及其功能說明。

實驗進行時需使用的設備及器材如下表 1：

表 1

設備名稱	功能與目的
蜂箱	蜜蜂的家，提供穩定的實驗環境
細砂糖水	進行糖水偏好實驗，檢測蜜蜂對不同糖水來源的選擇行為
調色盤	進行顏色偏好實驗，檢測蜜蜂對不同糖水來源的選擇行為
壓克力顏料	提供調色盤顏色標記，以測試蜜蜂對各種顏色的辨識與選擇能力
防蜂裝備	確保實驗人員安全，避免受到蜜蜂攻擊
延長線、攝影機兩台	拍攝影片，記錄蜜蜂的行為，以利後續數據分析與驗證
透明 pvc 板與熱熔膠、三 色簽字筆（藍、綠、紅）	用於三色門實驗，以觀察蜜蜂對不同顏色門的選擇行為
課桌椅數張	用於架設攝影機及放置調色盤，以維持實驗場域的穩定性
溫溼度計	測量環境溫度與濕度，分析這些變數對蜜蜂行為的影響
檸檬汁	用於酸鹼度實驗，測試蜜蜂對不同 pH 值糖水的偏好
pH meter	測量糖水在加入檸檬汁後的酸鹼值，確保實驗條件的準確性
手機與電腦	記錄並統計實驗數據，製作報告，以進行最終分析與結論整理

參、研究過程與方法

一、蜜蜂的取得與飼養

我們向橋頭糖廠的蜂農購買了一個西方蜜蜂蜂箱（含蜂后），內含兩片巢脾，約 5,000 隻蜜蜂，並配備蜂箱與飼料，正式展開實驗。回到學校後，我們最初將蜜蜂飼養於室內，以紗網密閉空間維持安全性，但同時保持門戶開放，以確保蜜蜂擁有正常的光週期與適當的通風（見圖 2、3）。然而，我們發現蜜蜂不僅未能適應室內環境、正常取食糖水，甚至出現大量死亡的情況。為了改善飼養狀況，我們最終將蜂箱移至學校六樓太陽能板區的開放空間進行飼養。此舉大幅提升蜜蜂的存活率與適應性，使後續實驗得以順利進行（見圖 4、5）。



圖 2



圖 3



圖 4



圖 5

（照片來源：由作者親自拍攝）

二、實驗設計

（一）蜜蜂是否會對非蜜源植物之食物產生興趣？

1. 糖水來源設置

（1）在蜂巢 10~20 m 範圍內，隨機放置裝有 50% 糖水的調色盤（見圖 6、7）。

（2）每次實驗開始前，確保蜜蜂尚未知道糖水的位置，以觀察偵查蜂的尋找行為。

2. 蜜蜂偵查與訊息傳遞觀察

（1）記錄蜜蜂是否前來取食。

（2）測量蜜蜂取食完糖水所需的時間。

3. 數據收集與分析

（1）在不同天氣條件下多次進行實驗，以確保數據穩定性。

（2）記錄偵查蜂發現糖水到大量蜜蜂到訪的時間，分析蜜蜂的訊息傳遞速度與效率。



圖 6



圖 7 （照片來源：由作者親自拍攝）

(二) 蜜蜂是否能辨識並偏好特定顏色的食物？

1. 糖水濃度與顏色處理

(1) 準備 50% 濃度的糖水，每個調色盤內皆放 15g，避免濃度或液量影響結果。

(2) 使用壓克力顏料將調色盤塗成紅、橘、黃、綠、藍、紫、黑、白八種顏色，以測試蜜蜂對不同顏色的選擇偏好（見圖 8、9、10、11）。

2. 調色盤的擺放與影像記錄

(1) 隨機擺放不同顏色調色盤於距離蜂巢 15~20m 範圍內，減少環境因素對選擇行為的影響。

(2) 使用攝影機全程錄影蜜蜂造訪糖水的情況，以確保數據完整並降低人為干擾。

(3) 每種顏色進行多次測試，連續多日實驗，以提高數據的穩定性與代表性。



圖 8



圖 9



圖 10



圖 11 (照片來源：由作者親自拍攝)

(三) 糖水的濃度、酸度及香味來源是否影響蜜蜂的取食偏好？

1. 糖水濃度實驗

(1) 準備三種不同濃度的糖水：50%、33.3%、16.7%。

(2) 在距離蜂巢 15 至 20 公尺範圍內，隨機擺放調色盤，兩調色盤相距 10 公分以內，確保食物是同時被發現（見圖 12）。

(3) 以攝影機全程拍攝以備事後數據分析。

2. 糖水酸度實驗

(1) 在蜂巢內擺放兩個相同的食盆，在不同食盆中，分別放置相同濃度的糖水（50%），分別在食盆中加入檸檬汁，稀釋 10 倍、20 倍、40 倍，實測 pH 值分別是 2.8、2.9、3.0，觀察蜜蜂取食偏好（見圖 13）。

3.糖水香味實驗

(1) 在蜂巢內擺兩個相同的食盆，在不同食盆中，分別放置相同濃度的糖水（50%），在不同食盆中，加入百合花瓣、蜂蜜或玫瑰油，觀察蜜蜂對這些添加物的偏好（見圖 14）。

4.影像記錄與數據收集

(1) 使用攝影機全程拍攝蜜蜂造訪糖水的情況，確保數據完整，並減少觀察者的干擾。

(2) 重複操作多次，連續多日進行實驗，以獲取更多數據，提高結果的穩定性。

5.數據收集與處理

(1) 影片拍攝後，使用 Video to jpg converter 軟體，每 20 秒擷取一張影像，每分鐘計算一次停留在不同調色盤或食盆上的蜜蜂總數。

(2) 透過人工計數蜜蜂造訪的次數，作為蜜蜂偏好的衡量指標。

(3) 持續記錄蜜蜂對各種樣本的造訪頻率，直到某一盤中顯示出明顯的偏好趨勢，以確保完整觀察蜜蜂的選擇行為。

(4) 繪製折線圖，並同時使用對數趨勢線來分析變化趨勢

(5) 卡方檢定 (Chi-square Test)：比較蜜蜂在三種糖水濃度間的整體選擇差異，以檢驗偏好是否具有統計顯著性。



圖 12



圖 13



圖 14 (照片來源：由作者親自拍攝)

圖 12~14：由作者群拍攝及繪製

(四) 蜜蜂進出蜂巢是否具有特定的方向偏好？

本實驗中，初始將蜂巢放置於圖 15 的屋簷下，巢口朝向西方(見圖 16)，收集數據。數日後，依序旋轉巢口 90 度，分別朝向南方、東方，並記錄蜜蜂進出的行為變化。最後，將

蜂巢移至太陽能板下，巢口朝向較暗的西方，數日後再轉向陽光充足的東方（見圖 17），以此分別觀察蜜蜂對光照的影響。



圖 15



圖 16



圖 17

（照片來源：由作者親自拍攝）

1. 模型製作與安裝

- (1) 製作數個 PVC 三門模型和五門模型，門的下方各留有一個 $1\text{cm} \times 3\text{cm}$ 的出入口。
- (2) 將模型固定於蜂巢出口，確保蜜蜂只能從三個門或五個門的其中之一進出（見圖 18、19）。



圖 18



圖 19（照片來源：由作者親自拍攝）

2. 數據收集與處理

- (1) 使用攝影機全程記錄蜜蜂進出各門口的情形，以減少人為干擾並確保數據完整，影片拍攝後，每 30 分鐘抽樣觀察兩分鐘，作為分析樣本。
- (2) 人工計數影像中進出不同出口的數量。

3. 統計分析方法

- (1) 卡方檢定 (Chi-square Test)：比較蜜蜂在三個門和五個門的整體選擇差異，檢驗其偏好是否具有統計顯著性。

（五）蜜蜂進出巢穴時是否對特定顏色有所偏好？

1.模型製作與安裝

- (1) 製作數個 PVC 板三門模型，門的下方各留有一個 1cm x 3cm 的出入口。
- (2) 將三個方塊分別塗上不同顏色，排列方式為：第一個方塊塗上藍色、紅色和綠色，第二個方塊塗上紅色、綠色和藍色，第三個方塊則塗上綠色、藍色和紅色。這樣的顏色配置旨在觀察顏色排列對蜜蜂選擇行為的影響（見圖 20、21）。
- (3) 將模型固定於蜂巢出口，確保蜜蜂只能從三個顏色的門口之一進出，蜜蜂僅能從三個門口之一進出（見圖 22、23）。
- (4) 使用攝影機全程記錄蜜蜂進出各門口的情形，以減少人為干擾並確保數據完整。

2.數據收集與處理

- (1) 影片拍攝後，每 30 分鐘抽樣觀察兩分鐘，作為分析樣本。
- (2) 人工計數影像中進出不同出口的數量。

3.統計分析方法

- (1) 卡方檢定 (Chi-square Test)：比較蜜蜂在三個顏色門的整體選擇差異，檢驗其偏好是否具有統計顯著性。



圖 20



圖 21



圖 22



圖 23



圖 24（照片來源：由作者親自拍攝）

（六）巢框擺放位置是否影響蜜蜂出入蜂巢的方向選擇？

為了進一步驗證巢框擺放位置是否影響蜜蜂的出入行為，以及門的顏色或透明度是否對蜜蜂的方向選擇造成影響，在完成前述實驗四、五後，將巢框位置對調，由左轉至右，或由右轉至左，並重新進行觀察，確認巢框擺放是否會影響蜜蜂的進出偏好（見圖 24）。

依序變換巢框朝向（西→南→東），再移至太陽能板區，收集新一輪數據，對比前後結果。

（七）溫度與濕度是否影響蜜蜂的出勤活躍程度？

1. 數據記錄

（1）在每日工作時間內，每小時的整點與半點，記錄環境溫度與濕度，並開始計時 2 分鐘，統計此期間內進出蜂箱的蜜蜂總數，作為出勤量指標（見圖 25）。

（2）持續數日進行數據蒐集，以確保結果的穩定性與代表性。

2. 數據分析

（1）比較不同日期相同時間點的蜜蜂出勤數，觀察溫度與濕度變化對出勤趨勢的影響。

（2）繪製折線圖，視覺化溫度、濕度與蜜蜂出勤數的變化關係。



圖 25（照片來源：由作者親自拍攝）

（八）日照時長是否影響蜜蜂當日的總工作時長？

探討蜜蜂每日的「開工」與「收工」時間是否與當日的日光週期具有顯著關聯性，並分析日照長短對蜜蜂活動模式的影響。

1. 蜜蜂活動時間的定義

透過計算蜜蜂兩分鐘內進出巢的數量來判斷開工與收工時間，若兩分鐘內出巢的蜜蜂數量超過 6 隻，則記錄為當日的「開工時間」；若兩分鐘進入巢的蜜蜂數量低於 6 隻，則記錄為當日的「收工時間」。

2. 數據收集與紀錄

於每日日出前至日落後的每個整點與半點進行觀測，每次記錄兩分鐘內蜜蜂的進出巢總數。透過連續數日的觀測，統計每日蜜蜂的開工與收工時間，並與當日的日出與日落時間進行比對。

3. 數據分析

開工時間 vs. 日出時間：比較蜜蜂開始活動的時間與日出時間的關係；收工時間 vs. 日落時間：分析蜜蜂停止活動的時間與日落時間的關聯性。觀察是否存在顯著的時間差異。以散布圖呈現趨勢：繪製開工與收工時間的變化趨勢圖，並繪製線性回歸線，顯現 R 值觀察工作時長是否隨日光週期變化而改變。

（九）偵查蜂是否會傳遞蜜源之顏色訊息，亦或者是具有短期記憶？

本實驗旨在探討蜜蜂是否偏好選擇與調色盤糖水顏色相同的入口，並進一步檢驗偵查蜂是否會回巢提供顏色訊息，進而影響追隨蜂對蜜源方向上的入口選擇。若蜜蜂僅依賴短期記憶，則應主要選擇當前含糖調色盤顏色相符的門；反之，若偵查蜂能回報顏色訊號，則可能觀察到快速且大規模的顏色選擇趨勢變化。

1. 調色盤糖水與正四面體擺放

於蜂巢前方 15~20 公尺處放置 50% 濃度糖水與純水的調色盤各一，確保含糖調色盤的顏色每天隨機指定（藍色或綠色），防止蜜蜂形成長期記憶，在調色盤附近、相同方向放置正四面體模型，初始設計為四個不同顏色面（藍、綠、白、透明），後續改為兩面藍色、兩面綠色，每個面底部皆留有 1.5cm x 2.5cm 的洞口供蜜蜂進入，在正四面體中央內部放置糖水小碟，確保蜜蜂進入後能夠吸食到糖水（見圖 26、27）。



圖 26



圖 27 (照片來源：由作者親自拍攝)

2. 觀察與數據收集

記錄進入蜜蜂正四面體不同顏色門的蜜蜂數量，分析蜜蜂是否傾向選擇與含糖調色盤相同顏色的門。每日隨機更換含糖調色盤顏色，觀察當日是否出現明顯的顏色偏好變化。

3. 偵查蜂影響驗證

若蜜蜂僅依靠短期記憶，則蜜蜂應主要選擇與當前含糖調色盤相符的門，且偏好應在短時間內逐漸形成，我們推測若偵查蜂提供顏色訊號，則可能觀察到以下現象：

(1) 偏好形成速度較快：若大批蜜蜂在短時間內選擇特定顏色的門，表示顏色訊號可能已在蜂群內部傳遞。

(2) 藍色優勢驗證：由於蜜蜂偏好藍色，若當日綠色盤含糖，但蜜蜂仍大量選擇綠色門，則表示蜜蜂至少具備短期記憶，或是追隨蜂接收了顏色訊號，進而在飛行時特別關注綠色。

(3) 長時間影響消退：若蜜蜂在實驗開始時選擇與含糖調色盤相符的門，但隨時間推移，選擇逐漸轉向藍色，則表示蜜蜂可能也逐漸習慣於「藍色與食物的關聯」，使得顏色影響力減弱。

(4) 藍色盤優勢持續：若當日含糖調色盤為藍色，則在全時段內蜜蜂皆持續傾向選擇藍色的門，顯示其對藍色的先天感知優勢，並可能透過偵查蜂進一步強化群體選擇。

4. 統計分析

(1) 卡方適合度檢定 (Chi-square goodness-of-fit test)：檢驗蜜蜂對不同門顏色的選擇是否存在顯著偏好。

(1) 將時間切割成前期與蜜蜂大量聚集的時段，繪製成長條圖，探討蜜蜂在實驗開始時是否有某個顏色偏好，中後期這樣的偏好是否被扭轉。

本實驗將能夠驗證蜜蜂是否偏好選擇與含糖調色盤的顏色相同的門，並同時檢測是否存在來自偵查蜂的社會訊號影響，以釐清蜜蜂決策過程中短期記憶與同伴傳遞資訊的相對影響力。

肆、研究結果

一、蜜蜂是否會對非蜜源植物之食物產生興趣？

根據觀察，蜜蜂確實會對非蜜源植物提供的食物產生興趣，並會主動前往食用裝有糖水的調色盤。此外，在糖水撤除後的隔天，仍可見蜜蜂返回相同位置尋找食物，顯示其具備記憶食物來源並進行搜尋的能力。我們觀察到，在前一天放置糖水的位置，會有大量蜜蜂徘徊並探索，甚至短暫停留並嘗試取食，這進一步支持了蜜蜂將糖水視為真正的蜜源，並能透過學習與記憶，持續搜尋過去成功獲取食物的位置。這項行為模式與蜜蜂對於花蜜來源的尋找行為相似，顯示蜜蜂能夠靈活適應環境，並根據經驗調整其取食策略。

二、蜜蜂是否能辨識並偏好特定顏色的食物？

綜合統計圖表與卡方分析結果顯示，蜜蜂對不同顏色的偏好由高到低依序為：藍 > 紫 > 綠 > 橘 > 黃 > 白 > 紅 > 黑，顯示蜜蜂對藍色及紫色具有最明顯的偏好，而對黑色最不感興趣（見圖 28~33）。由於藍色與紫色、黃色與橘色之間的偏好差異不夠明顯，因此進一步進行卡方分析，進一步證實了其對顏色的選擇性偏好。



圖 28

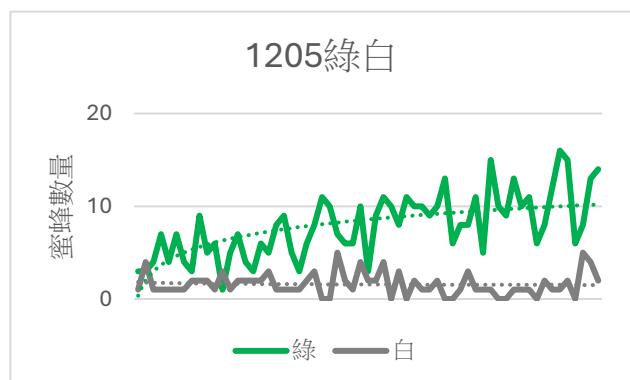


圖 29

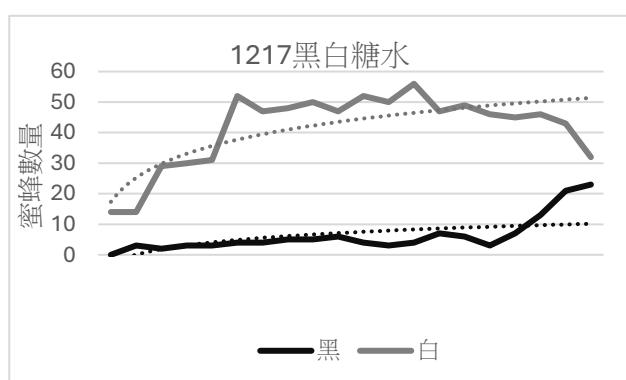


圖 30

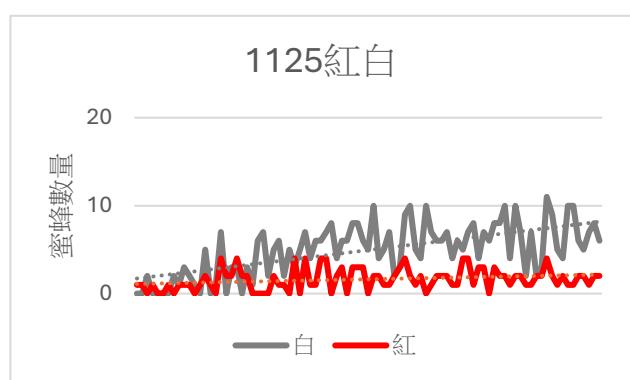


圖 31

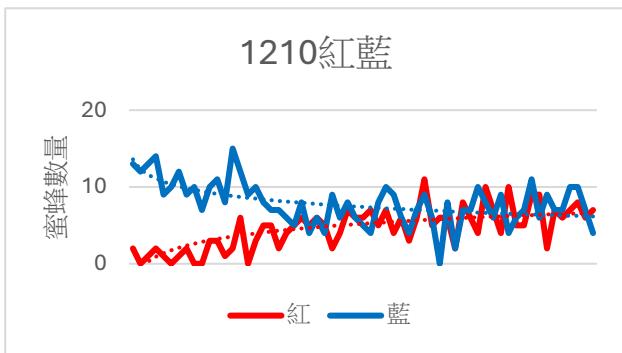


圖 32

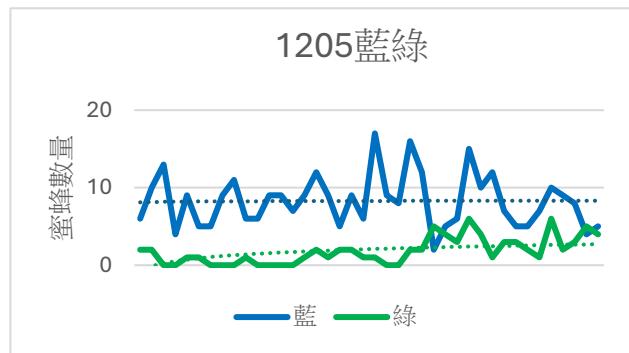


圖 33

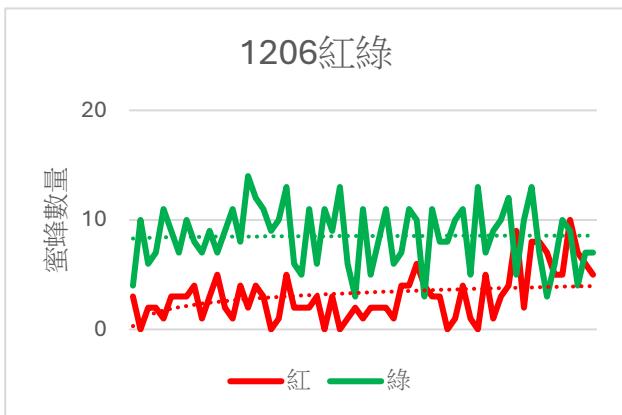


圖 34

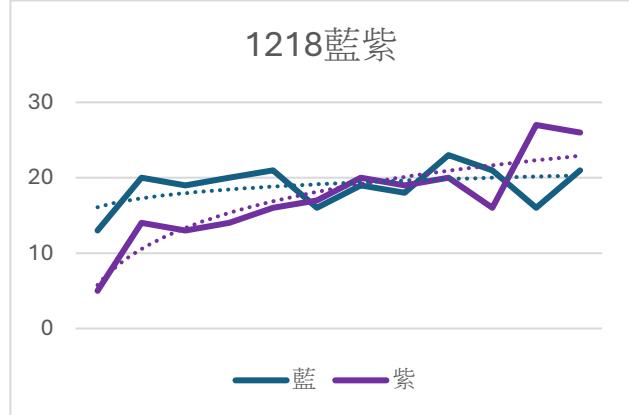


圖 35

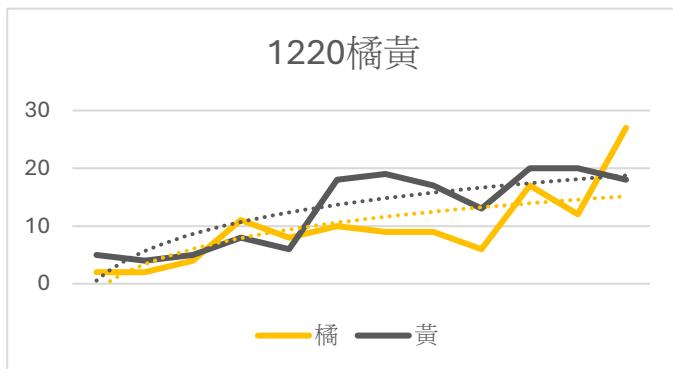


圖 36

(照片來源：由作者親自繪製)

三、糖水的濃度、酸度及香味種類是否影響蜜蜂的取食偏好？

糖水濃度偏好實驗

經過卡方檢定，結果顯示不同糖水濃度下蜜蜂的選擇行為分佈顯著偏離預期值 ($p < 0.001$)。這表明糖水濃度對蜜蜂的取食行為具有統計上顯著的影響。根據觀察，蜜蜂明顯偏好最高濃度的糖水 ($50\% > 33.3\% > 16.7\%$)。每次提供糖水後，蜜蜂的取食行為通常會在一至兩小時內結束，顯示蜜蜂對不同濃度糖水的選擇具有特定偏好。

酸度偏好實驗

經過卡方檢定，結果顯示在不同檸檬汁濃度下，蜜蜂的選擇行為分佈顯著偏離預期值。其中，10 倍稀釋檸檬汁添加對 50% 糖水 ($p < 0.001$)，10 倍稀釋檸檬汁添加對 40 倍稀釋檸檬汁添加 ($p < 0.001$) 均達顯著水準，而 10 倍稀釋檸檬汁添加對 20 倍稀釋檸檬汁添加 ($p = 0.158$) 則未達統計顯著性。這表明一定濃度的檸檬汁添加對蜜蜂的取食行為具有顯著影響。根據觀察，蜜蜂明顯偏好 10 倍濃縮糖水，其次為 20 倍濃縮糖水，而 40 倍濃縮糖水則無顯著偏好。每次提供糖水後，蜜蜂的取食行為通常會在 1 至 4 小時內結束，顯示蜜蜂對檸檬汁添加的選擇具有一定的趨勢。

香味偏好添加實驗中，卡方檢定結果顯示蜜蜂對於添加玫瑰油或百合花的糖水明顯表現出排斥反應，且選擇行為的分佈顯著偏離預期值。其中，蜜蜂對玫瑰油的厭惡程度達統計顯著性 ($p < 0.001$)，見圖 40，同時也不偏好百合花瓣和蜂蜜，顯示這些氣味可能對蜜蜂產生排斥作用，和我們原先的預期結果相反。

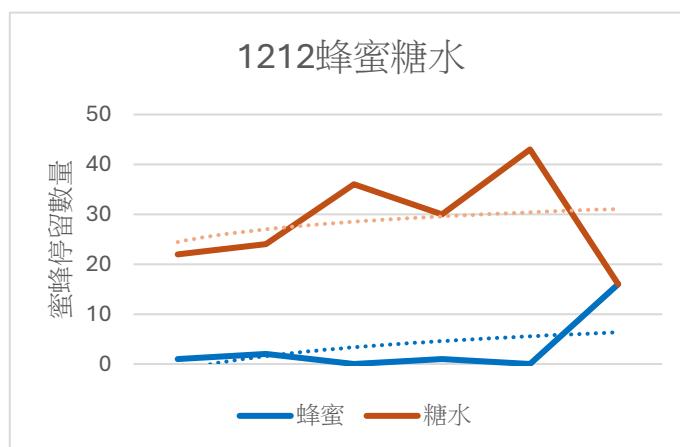


圖 37 (照片來源：由作者親自繪製)

四、蜜蜂進出蜂巢是否具有特定的方向偏好？

根據觀察我們發現，當巢口的方塊沒有塗顏色且巢口向西，但西方正門口被封閉時，蜜蜂傾向於走北方的門出和入，其次才是南方。當朝口向北，但封閉左門時，蜜蜂因為無法從陽光的方向（西方）進出，因此轉而從北方出入，東方進出的數量仍極少（見圖 41、42）。

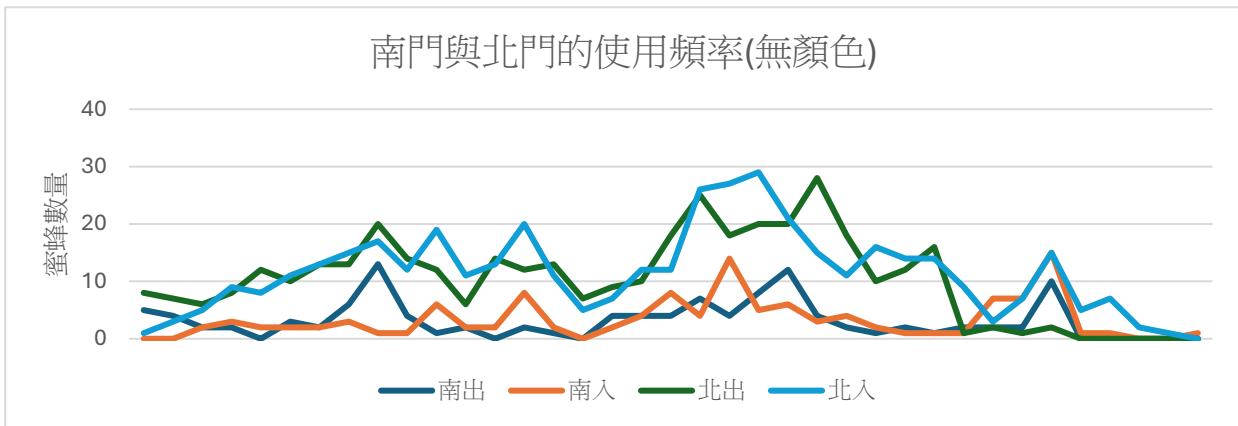


圖 38 (照片來源：由作者親自繪製)

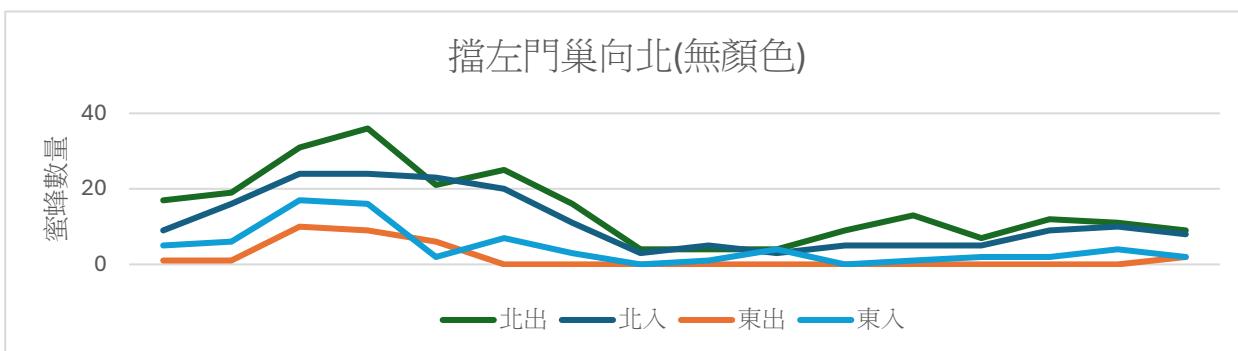


圖 39 (照片來源：由作者親自繪製)

在本實驗中，我們也進一步測試了當巢口設置狹長型結構，並設有五個門口（左側兩個、右側兩個、正前方一個）時，蜜蜂的選擇行為是否仍受光線方向影響。我們的蜂巢安置於太陽能板東側下方，導致西側區域整體較為陰暗，而南北方向的亮度相近，唯獨東側光線最為明亮。

實驗結果顯示，當巢口朝東時，蜜蜂在出巢時明顯偏向選擇北側外側出口及正前方出口，而較少選擇南側出口，這表明蜜蜂依然傾向朝向光線較強的方向飛出。然而，在回巢時，蜜蜂則主要透過北側與南側的內側入口進入，其中北側入口的使用頻率顯著高於南側，顯示回巢行為與出巢時的趨光性不同，而是以效率為主要考量（見圖 40、41）。

這項結果進一步證實了蜜蜂的出巢行為受到光線影響，牠們優先選擇最亮的出口飛出。但在回巢時，牠們不會刻意尋找與出巢時相同的入口，而是選擇更有效率的路徑返回巢內。

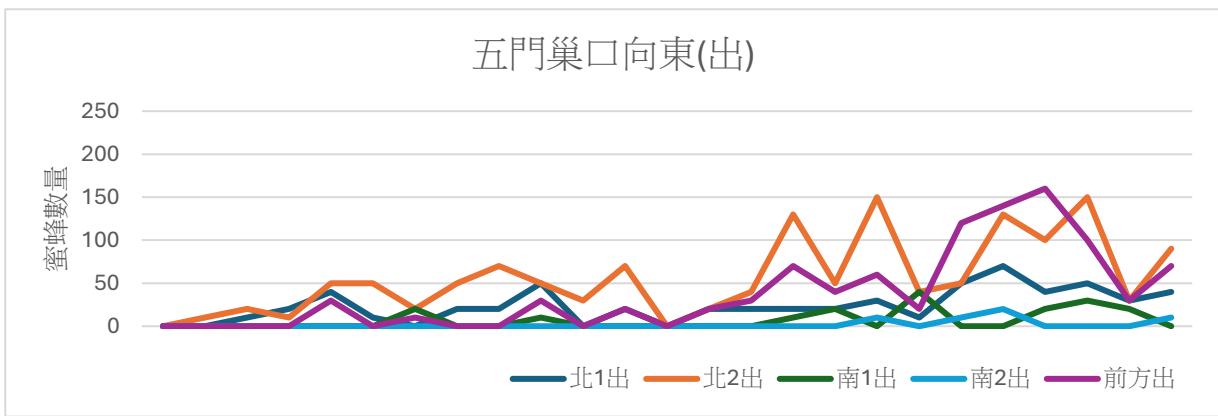


圖 40 (照片來源：由作者親自繪製)

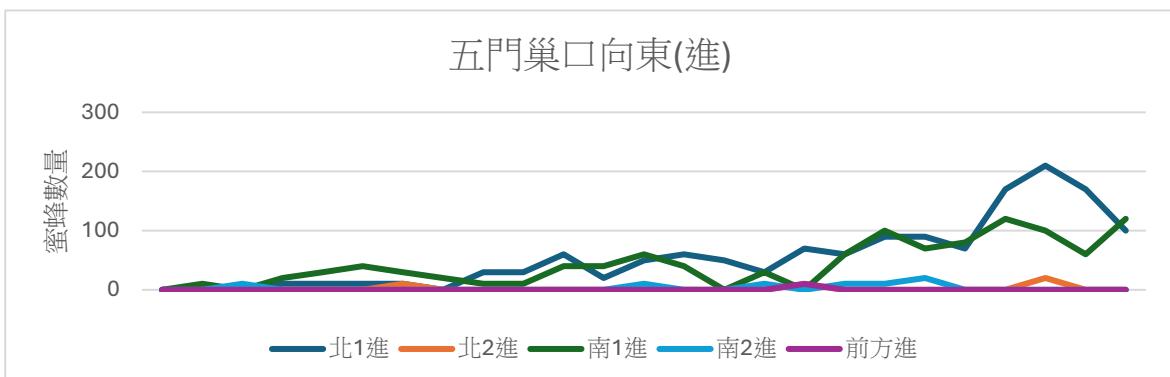


圖 41 (照片來源：由作者親自繪製)

而當巢口朝西時，由於西側被大片太陽能板覆蓋，蜜蜂主要選擇從北方兩個出口飛出，而不經前方，顯示其具有明確的正趨光性。同時，南側為開闊的操場與空地，可能相對缺乏食物來源，因此蜜蜂較少從南方出巢。然而，在回巢時，蜜蜂仍遵循效率原則，與巢口朝東時相似，主要透過內側的南北門返回，而非依照出巢時的光線方向決定回巢路徑（見圖 45、46），進一步證明其選擇行為受到環境條件與導航需求的綜合影響。

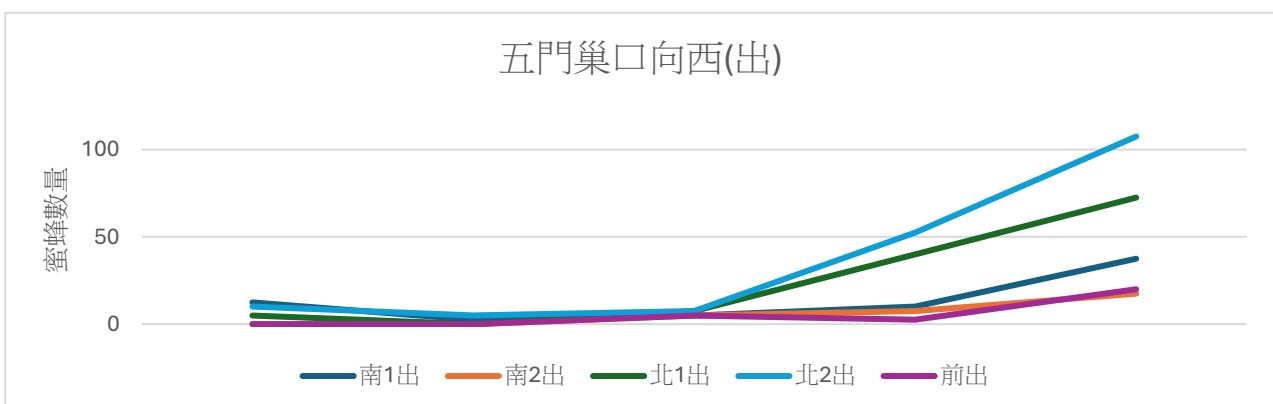


圖 42 (照片來源：由作者親自繪製)

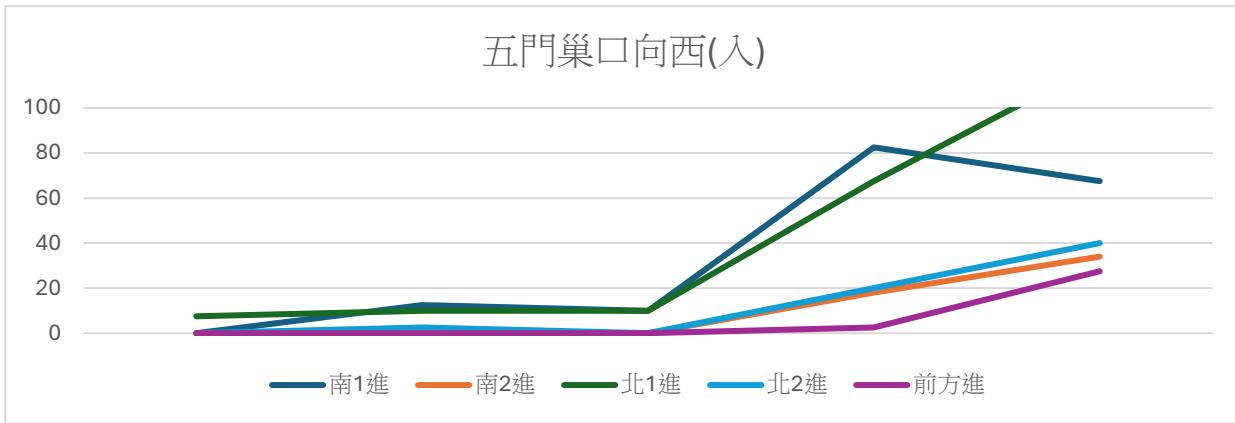


圖 43 (照片來源：由作者親自繪製)

五、蜜蜂進出巢穴時是否對特定顏色有所偏好？

實驗結果顯示，當巢口朝西時，西方為唯一的光源，無論該出口的顏色為何，蜜蜂都顯著地傾向從西方飛出（見圖 44、45）。同樣地，當巢口朝北時，西方仍然是唯一的光源，即使該門為藍色，蜜蜂仍然主要從西方門進出，顯示光線對蜜蜂選擇出口的影響勝過顏色。此外，北方的紅門則成為次要的進出口，可能作為輔助通道，進一步支持光線為蜜蜂決策的主要因素。

在巢口朝東的情況下，因為正前方是牆壁，光線從後方進入，而牆壁部分反射了光線，使蜜蜂主要從南方綠色門飛出，其次是東方紅門。回巢時，蜜蜂同樣以南方綠色門為主要入口，其次是東方紅門，但整體行為較為分散，顯示光線的間接影響可能降低了方向選擇的一致性（見圖 46）。

整體而言，光線方向顯著影響蜜蜂的出入口選擇，它們傾向朝向有光的方向飛出。門的顏色對進出選擇影響較小，即使門的顏色變換，蜜蜂仍優先選擇光照較強的方向作為出巢路徑，回巢則偏向北側的入口。此外，蜜蜂的選擇行為符合效率優先原則，它們會依據光線與環境條件，選擇最適合的進出路徑，而非依賴特定的顏色記憶。

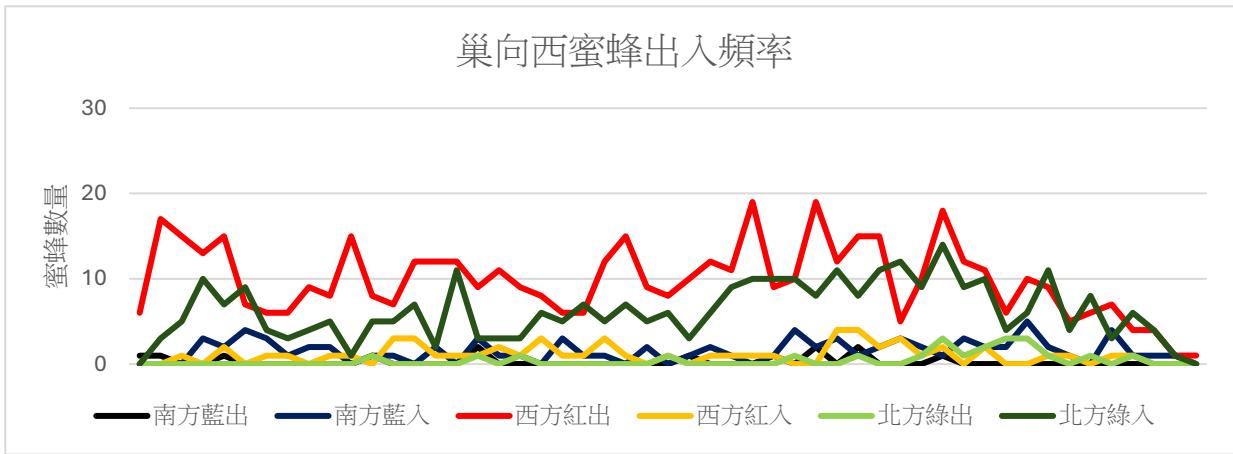


圖 44 (照片來源：由作者親自繪製)

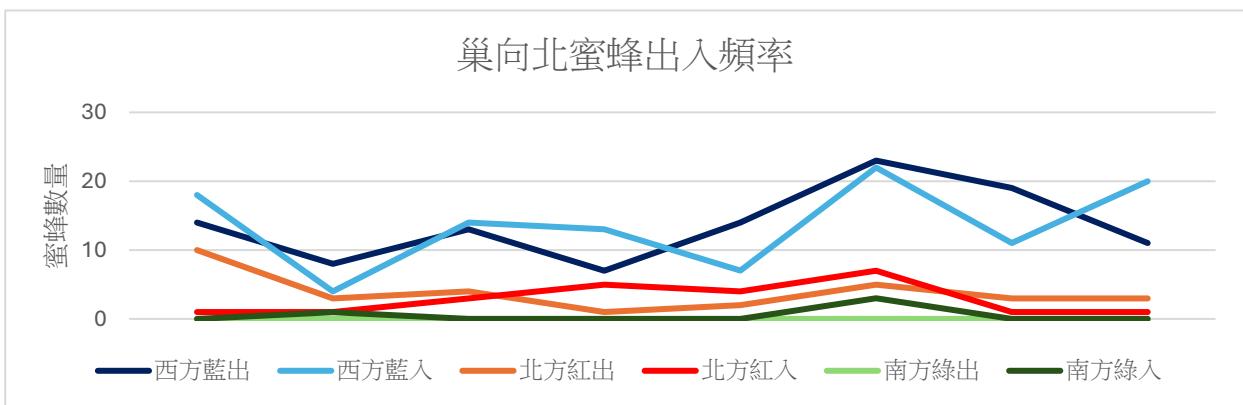


圖 45 (照片來源：由作者親自繪製)

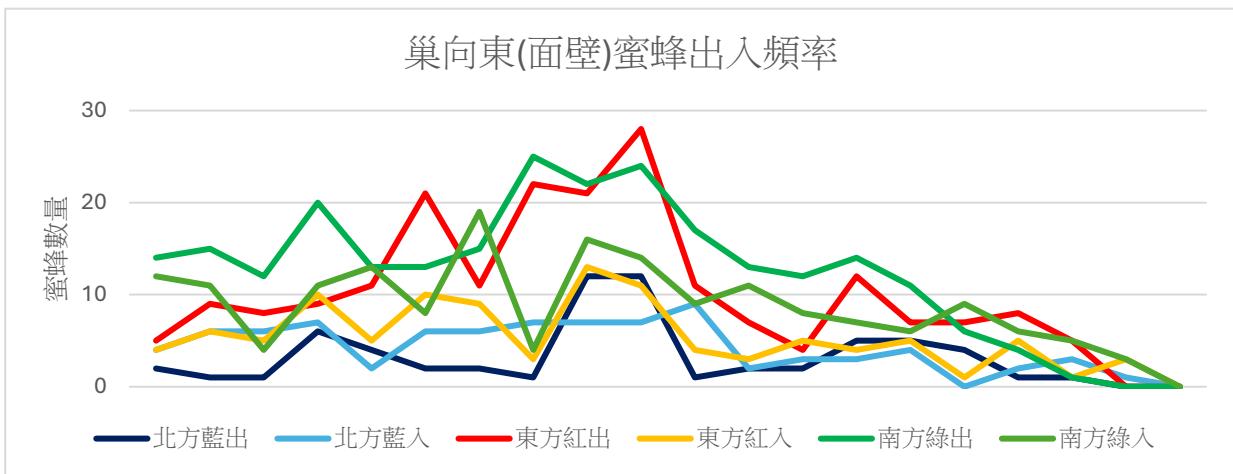


圖 46 (照片來源：由作者親自繪製)

六、巢框擺放位置是否影響蜜蜂出入蜂巢的方向選擇？

本實驗發現，無論將巢框由左側移至右側，或由右側移至左側，蜜蜂的行為模式皆未出現明顯差異，顯示巢框位置的變動對其取食選擇影響不大。然而，觀察結果顯示，蜜蜂明顯偏好向陽處，即較常聚集於光線較充足的區域。此外，蜜蜂對於北方的偏好亦十分顯著，即

使巢框位置改變，甚至是朝口方向相反，其取食行為仍主要集中於北側。說明蜜蜂的環境選擇可能受光照與方向性影響，因學校南方是大片的空地與操場，食物來源不多，所以蜜蜂都偏好於飛向北方。

七、溫度與濕度是否影響蜜蜂的出勤活躍程度？

結果發現，蜜蜂的活動模式受到多種環境因素的影響，影響程度為：時間>濕度>溫度。

根據觀察，蜜蜂通常在 10:00 至 14:00 這段時間最為活躍，這一時段的高峰活動可能與植物的花蜜與花粉產量達到高峰時期有關。然而，濕度的變化顯示出對蜜蜂活動有顯著影響。當空氣濕度較高時，蜜蜂的活動量會顯著降低，這可能是因為高濕度會使蜜蜂的翅膀變得潮濕，影響飛行能力，或與降雨等氣象因素相關，而當濕度降低時，蜜蜂的活動量則會有所提升，這表明蜜蜂更傾向於在較乾燥的環境中活動。

此外，氣溫的變化也對蜜蜂的活動產生影響。在冬季（11~12 月），蜜蜂的活動量顯著較低，這可能與氣溫較低以及花源不足有關。而在春季（2 月到 3 月），隨著氣溫回升和花源增多，蜜蜂的活動量顯著增加，這顯示出春季是蜜蜂活動的高峰期。綜合來看，蜜蜂的活動不僅受時間和溫度的影響，還會受到濕度變化的調控。當濕度較高時，蜜蜂的活動會受抑制，這是牠們對環境適應的結果；而當濕度較低時，牠們則會更積極地進行覓食（見圖 47~52）。

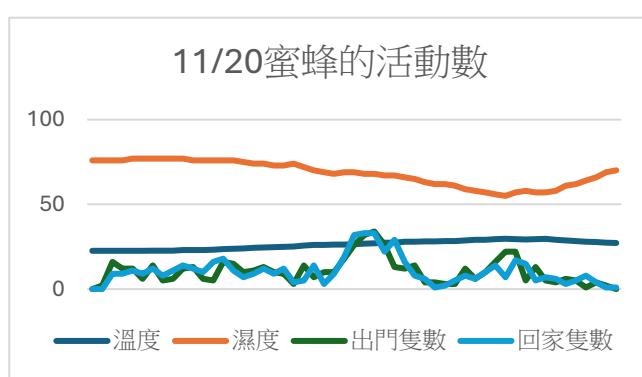


圖 47

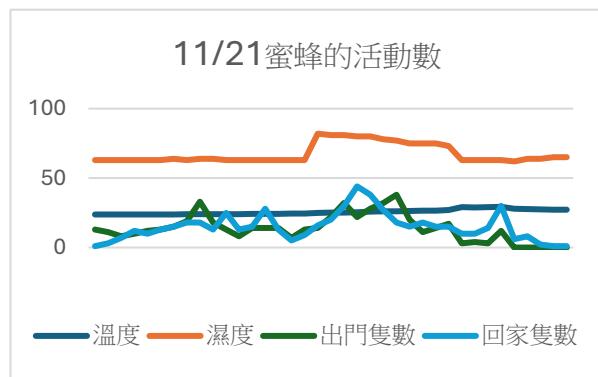


圖 48

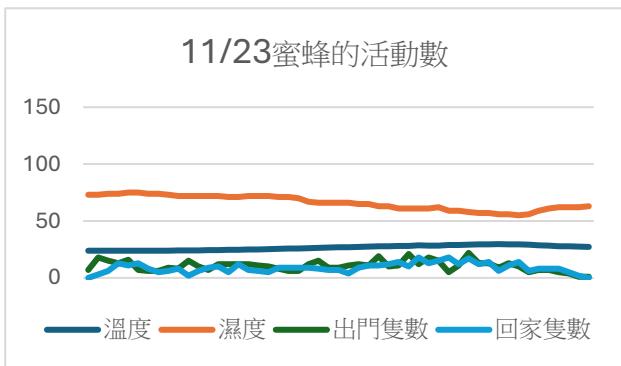


圖 49

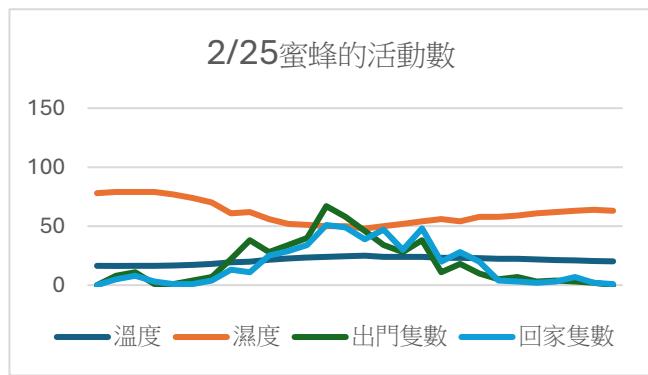


圖 50

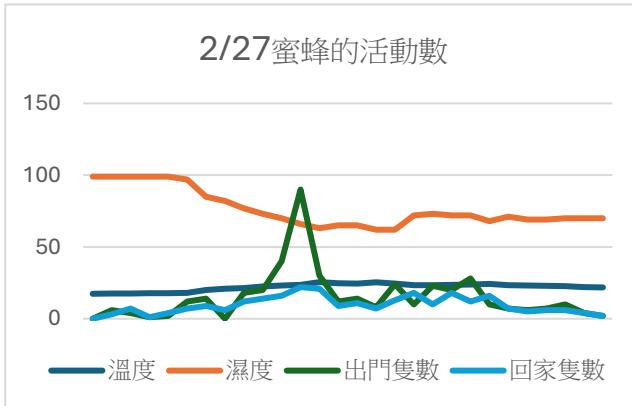


圖 51

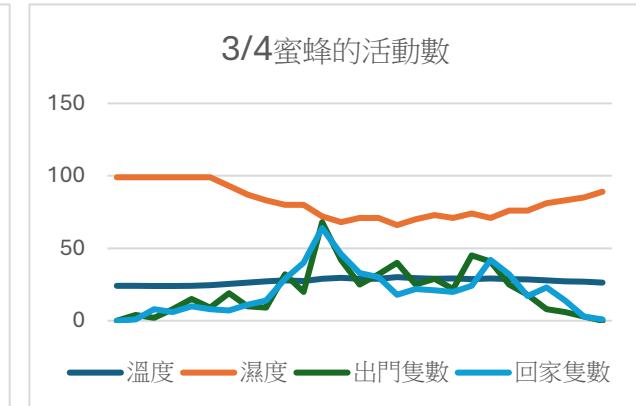


圖 52

圖 48～52 (照片來源：由作者親自繪製)

八、日照時長是否影響蜜蜂當日的總工作時長？

研究結果顯示，日光時間與蜜蜂的工作時間之間存在顯著的正相關關係，並會隨著季節變化進行調整。觀察影片顯示，蜜蜂通常會在日出前不久開始躁動，並在日落前結束工作。整體而言，蜜蜂的開工時間大多落在清晨 6:00 至 6:30 之間，但在特定條件下可能有所變化。例如，11 月 24 日的開工時間特別早 (05:39)，可能是當天環境條件適合，使蜜蜂提早出巢覓食。收工時間則主要落在 17:00 至 18:30 之間，並隨著春季的到來逐漸延後。在 2 月 27 日、3 月 4 日和 3 月 13 日，蜜蜂的收工時間可達 18:30，顯示當日照時間增加時，蜜蜂也會相應地延長工作時間，以最大化覓食機會。

除了每日的出勤時間，蜜蜂的總工時也會隨著季節變化而有所調整。數據顯示，蜜蜂的每日工作時數約為 10 小時 45 分至 13 小時 30 分之間，並且與日照長度呈現高度相關。在 11 月與 12 月，蜜蜂的工作時間較短，通常落在 10 小時 50 分至 11 小時 15 分之間；然而，在 3 月與 5 月，工作時間明顯拉長，甚至可達 13 小時 38 分 (如 5 月 22 日~5 月 25 日)。這

樣的趨勢與日照時間的變化相符，顯示蜜蜂會根據光照條件動態調整其出勤模式，以提升覓食效率。

此外，線性回歸分析的結果進一步支持這一趨勢，趨勢線的決定係數 ($R^2 = 0.9478$) 表明，日光時間可以解釋蜜蜂工作時間約 94.78% 的變異。這意味著日光時間是影響蜜蜂工作時間的最主要因素之一。然而，仍有約 5.22% 的變異來自其他潛在因素，例如氣溫、濕度、降雨或蜜源供應，這些環境條件可能進一步影響蜜蜂的活動時間與覓食行為（見圖 53）。

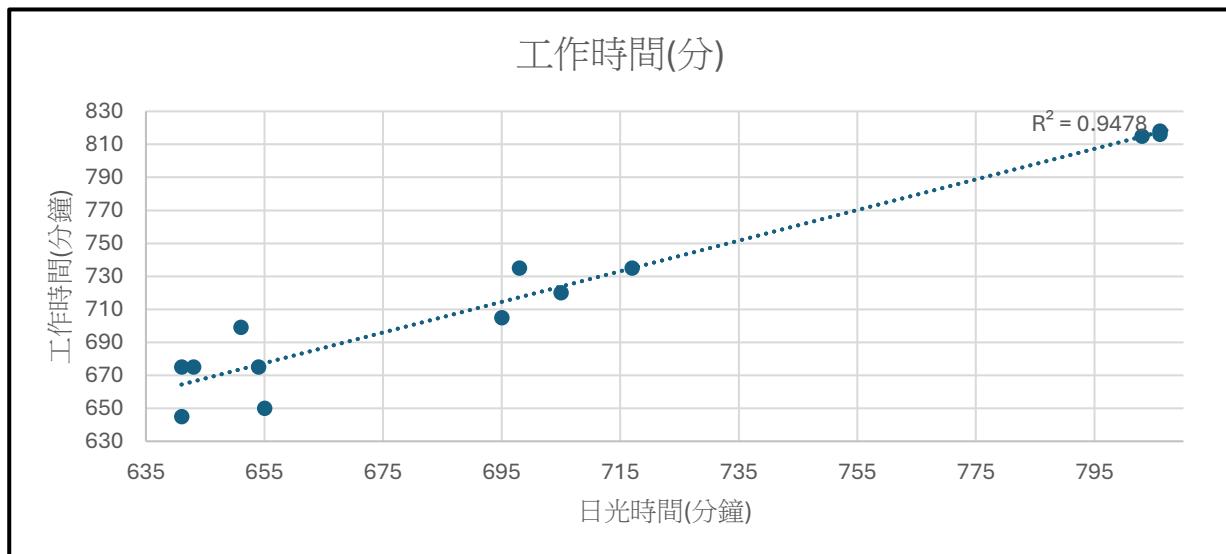


圖 53 (照片來源：由作者親自繪製)

九、偵查蜂是否會傳遞蜜源之顏色訊息，亦或者是具有短期記憶。

本實驗發現，蜜蜂的進食選擇受到糖水顏色的影響，並且其行為模式會隨時間發生變化。當調色盤糖水為藍色、對照組為純水（綠色），蜜蜂全時段都明顯偏好進入藍色門進食；當調色盤糖水為綠色、對照組為純水（藍色），蜜蜂則在初期明顯偏好綠色門，但隨著時間推移，選擇趨勢逐漸拉回相等，甚至轉為更偏好藍色門。

我們推測，這種現象可能與蜜蜂的情報傳遞機制和對顏色的偏好有關。偵查蜂在糖水處取食後回巢，透過搖擺舞向巢內同伴傳遞食物的方向訊息，並可能在此過程中也傳遞了顏色訊息。首次前往食物區域的追隨蜂，可能先根據方向訊號尋找目標，但當牠們到達該區域後，則更依賴視覺來確定食物位置，因此選擇了與糖水相同顏色的門。然而，由於環境中同時存在藍色與綠色標記，這可能導致部分蜜蜂回巢後傳遞了藍色也有糖水的訊息。加上蜜蜂

本身對藍色的天生偏好，最終導致整體趨勢從初期的綠色門較多，逐漸轉為藍色門的選擇比例上升（見圖 54~59）。

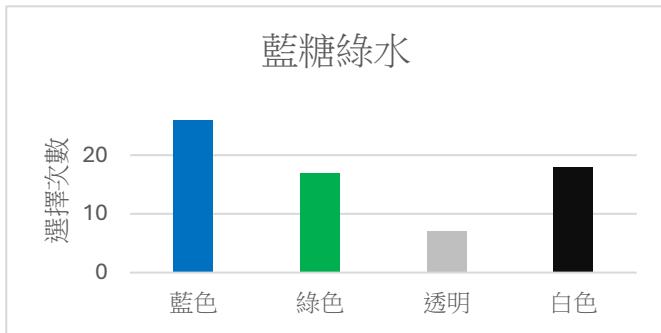


圖 54

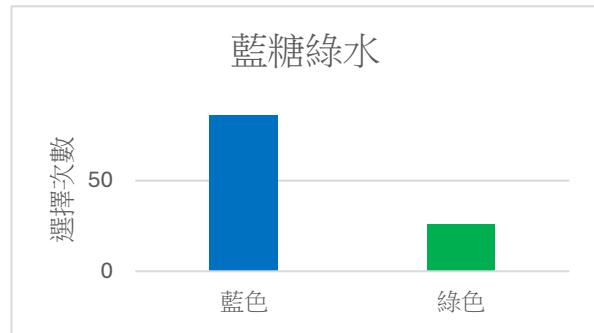


圖 55

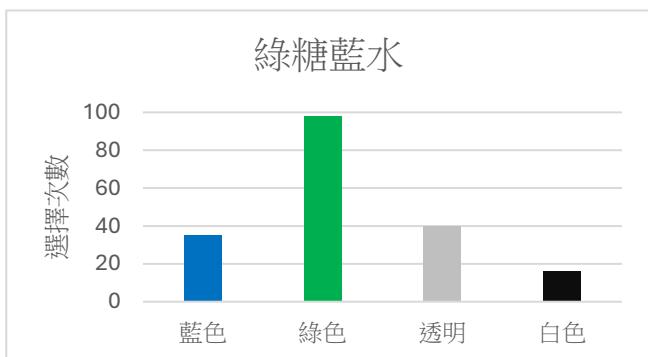


圖 56

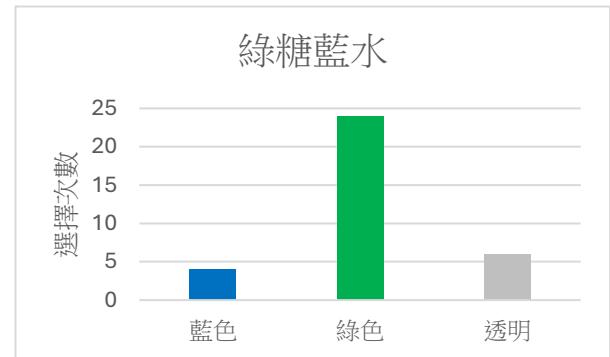


圖 57

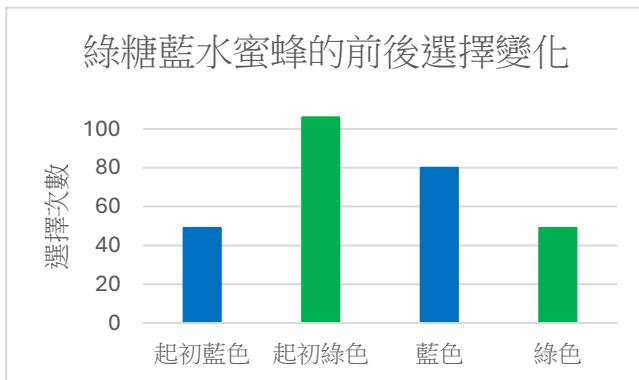


圖 58

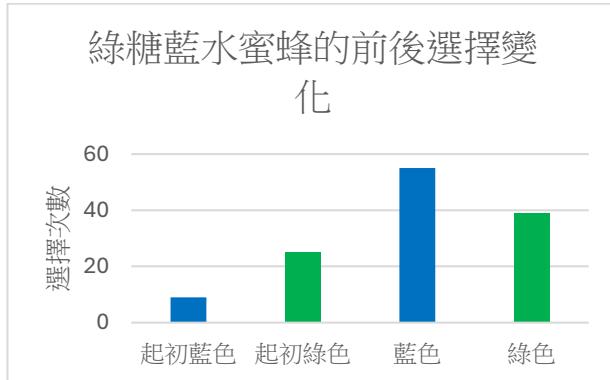


圖 59

圖 54~59 (照片來源：由作者親自繪製)

我們進一步分析了蜜蜂在調色盤顏色為綠糖藍水時的行為，觀察其進入角錐後的離開選擇。我們發現，當蜜蜂吃飽準備離開時，牠們最常選擇透明門離開，其次是綠色門，而白色門與藍色門的選擇率最低，幾乎沒有蜜蜂從藍色門離開（見圖 60）。

這一結果符合蜜蜂的正趨光性，因為透明門可以讓最多光線通過，對於蜜蜂來說更具吸引力。因此，蜜蜂可能會優先選擇光線較強的出口來離開角錐。此外，綠色門的選擇率次

高，可能與蜜蜂對綠色的辨識能力較強有關，使其成為次要選擇。相對而言，白色與藍色門的選擇率最低，可能是因為這些門的亮度或反射特性較不符合蜜蜂的本能偏好。

綜合來看，這個實驗顯示蜜蜂在選擇出口時，除了受原本進入時的顏色影響，也會受到光線強度的影響。透明門成為主要出口，又進一步證明了蜜蜂的正趨光性特徵，並且在探索環境時，會傾向選擇光線較充足的方向移動。

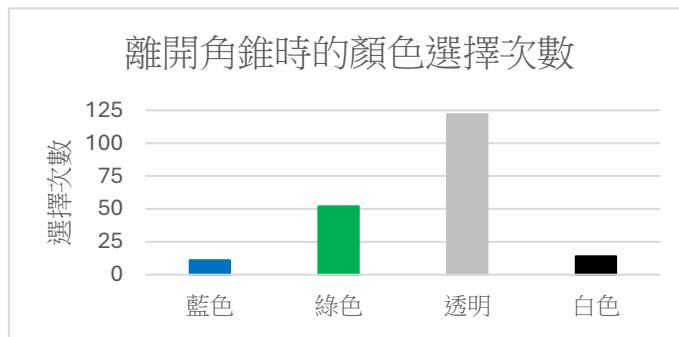


圖 60 (照片來源：由作者親自繪製)

伍、討論

本研究發現，蜜蜂確實會對非蜜源植物提供的食物產生興趣，並主動取食裝有糖水的調色盤。此外，在糖水撤除後的隔天，仍可觀察到蜜蜂返回相同位置尋找食物，顯示其具備高度的食物來源記憶與搜尋能力。這與先前研究指出蜜蜂能夠透過學習與經驗調整其取食行為的發現相符。此外，蜜蜂在曾經放置糖水的位置持續徘徊、探索甚至短暫停留並嘗試取食的行為，進一步支持了蜜蜂將糖水視為穩定食物來源的能力，並與其對於花蜜來源的搜尋行為模式相似。這說明蜜蜂不僅能夠靈活適應環境，亦能透過學習與記憶，形成穩定的食物搜尋策略，以下針對各種環境因子進行分別探討。

顏色

統計分析結果顯示，蜜蜂對不同顏色的選擇性偏好依序為：藍>紫>綠>橘>黃>白>紅>黑，其中對藍色與紫色的偏好最為顯著，而對黑色最不感興趣。這與過去的研究結果一致，即蜜蜂對藍色和紫色最敏感，而對紅色的視覺感知較弱。此外，卡方分析進一步證實了不同顏色之間的顯著差異，顯示蜜蜂在食物選擇過程中，可能受到視覺感受器的影響，使其對某些顏色產生較強的偏好。這項發現可應用於蜜蜂授粉行為的研究與養蜂產業，透過適當的顏色設計來提升蜜蜂對特定花朵或人工飼養食物來源的吸引力。

糖水濃度

本研究結果顯示，蜜蜂對不同濃度的糖水具有明顯的選擇偏好，其中高濃度糖水（50%）吸引最多蜜蜂，其次為中等濃度（33.3%），而低濃度（16.7%）則較少蜜蜂取食。卡方檢定結果進一步證實不同糖水濃度對蜜蜂取食行為具有顯著影響 ($p < 0.001$)。這與過去研究指出蜜蜂傾向選擇高濃度糖水，以最大化能量攝取的行為一致。此外，蜜蜂取食行為通常在 1 至 2 小時內結束，顯示其能夠快速偵測與選擇最具能量效益的糖水來源。

酸度

實驗結果顯示，適量的檸檬汁（10 倍與 20 倍稀釋）能夠提升蜜蜂的取食偏好，而 40 倍稀釋的效果則不顯著。這可能與蜜蜂對酸味的耐受度與偏好有關，適量的酸味可能增強蜜蜂的食物辨識能力，但過高或過低的酸度則可能降低吸引力。卡方檢定結果進一步支持此趨勢，顯示酸度對蜜蜂的取食選擇具有統計上顯著的影響 ($p < 0.001$)。

氣味

實驗發現，蜜蜂對於添加玫瑰油或百合花氣味的糖水表現出排斥行為，並顯著降低其取食意願 ($p < 0.001$)。這與原先預期不同，顯示某些花香成分可能含有蜜蜂不喜歡的揮發性化合物，例如某些酚類或萜類化合物可能對蜜蜂產生驅避作用。此外，蜜蜂對於蜂蜜氣味的反應亦不如預期，可能與蜂蜜中所含的其他成分影響其取食行為有關。這些結果顯示，蜜蜂的嗅覺偏好並非單純與花香相關，而可能受到更複雜的化學成分影響。

光線

本研究顯示，光線是影響蜜蜂出巢選擇的主要因素，蜜蜂傾向朝向光源較強的方向飛出，即使門口顏色不同，也不會改變其趨光行為。然而，在光線影響較小的情境下，顏色可能成為次要影響因素，如蜜蜂在巢口朝東時較偏好綠色門。此外，回巢時蜜蜂不完全依賴光線方向，而是選擇更有效率的路徑返回巢內，顯示其導航行為是多重因素決定的。巢框位置的變動對蜜蜂出入行為影響不大，但蜜蜂明顯偏好北方，可能與當地食物來源分布有關。

溼度、溫度與日照長度

本研究探討了溫度、濕度和日照時長對蜜蜂活動的影響。結果顯示，蜜蜂的活動與時間、濕度和氣溫等環境因素密切相關。蜜蜂通常在 10:00 至 14:00 最為活躍，這與花蜜和花

粉的產量高峰期吻合。濕度較高時，蜜蜂活動量減少，可能由於潮濕影響飛行能力；當濕度降低時，活動量反而增強，表明蜜蜂偏好乾燥環境。

氣溫的變化也有顯著影響，冬季活動量低，春季則隨著氣溫回升和花源增加而顯著增多。此外，研究顯示日照時長與蜜蜂工作時間正相關，隨著日照時間增加，蜜蜂會延長工作時間，尤其是在春季。

溝通行為的可能性

在這次的研究當中。我們探討了蜜蜂在進食過程中對糖水顏色的偏好，並且發現這些選擇會隨時間變化。當糖水顏色為藍色時，蜜蜂偏好藍色門，而當糖水顏色為綠色時，初期偏好綠色門，但隨著時間推移，偏好逐漸回歸藍色門。這表現出蜜蜂能夠學習並記住顏色與食物的關聯，並且調整其行為以提高尋食效率。

這種行為模式可以通過蜜蜂的視覺學習與記憶機制來解釋。蜜蜂利用偵查蜂的搖擺舞來傳遞食物的位置信息，並可能無意中傳遞顏色訊息。蜜蜂對顏色的偏好與其視覺感知能力密切相關，並且隨著時間積累經驗，它們會逐步加強對某些顏色的偏好，這有助於提高其尋食的效率和準確性。

這一現象突顯了蜜蜂的學習能力及其在生態環境中的適應性行為，表明它們不僅依賴於直觀的視覺線索，還能通過學習和記憶來調整行為，從而增加獲得食物的成功率

陸、結論

一、蜜蜂會對非蜜源植物提供的食物產生興趣，並能夠記憶食物來源並返回尋找。

二、蜜蜂對顏色的選擇偏好排序如下：藍色 > 紫色 > 綠色 > 橘色 > 黃色 > 白色 > 紅色 > 黑色，這表明藍色和紫色是最受蜜蜂喜愛的顏色。

三、蜜蜂對高濃度的糖水及檸檬汁有偏好，並排斥玫瑰花、百合花與蜂蜜。

四、蜜蜂的出入方向偏好會受到光線的影響，偏向從最亮的出口飛出，而回巢時則選擇效率較高的人口。

五、蜜蜂的出入巢方向並不受到特定顏色的偏好影響。

六、巢框的擺放位置對蜜蜂出入方向無明顯影響。

七、低溫與高濕度會顯著降低蜜蜂的工作活躍度，而在較溫暖與乾燥的環境中，蜜蜂的工作

活躍度較高。

八、蜜蜂的工作總時長與日照時長成正相關。

九、蜜蜂的回巢溝通行為可能伴隨著食物的顏色訊號。

柒、參考文獻資料

周靜靜, 陳大明, 李小紅, & 王強. (2002). 蜜蜂觸覺系統與覓食行為研究. *生物學報*, 45 (3), 123-130.

Abou-Shaara, H. (2014). The foraging behaviour of honey bees, *Apis mellifera*: A review. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 24 (1), 94-100.

Bloch, G., Toma, D. P., & Robinson, G. E. (2001). Behavioral rhythmicity, age, and division of labor in honey bee colonies. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 50 (1), 1-8.

Dyer, A. G., Rosa, M. G. P., & Reser, D. H. (2011). Honeybees (*Apis mellifera*) learn color discriminations via differential conditioning independent of long wavelength (green) photoreceptor modulation. *PLoS ONE*, 6 (11), e28577.

Ellis, M. B., Hayes, G. W., & Ellis, J. D. (2008). The effects of environmental factors on honey bee foraging behavior. *Florida Entomologist*, 91 (1), 76-79.

Frisch, K. V. (1937). The dance language of the honeybee. *Journal of Comparative Physiology*, 5 (3), 225-259.

Human, H., Nicolson, S. W., & Dietemann, V. (2006). Do honeybees, *Apis mellifera scutellata*, regulate humidity in their nest? *Naturwissenschaften*, 93 (9), 397-401.

Kevan, P. G., & Baker, H. G. (2001). The role of pollinators in ecosystem services. *Ecology and Evolutionary Biology*, 22 (2), 123-145.

Menzel, R., Wehner, R., & Ruther, J. (2005). Cognitive mapping and the honeybee's navigation system. *Biological Cybernetics*, 92 (3), 315-322.

Moore, D., Angel, J. E., Cheeseman, I. M., Fahrbach, S. E., & Robinson, G. E. (1989). Timekeeping in bees: The role of circadian rhythms in foraging behavior. *Science*, 244 (4910), 1581-1583.

Riley, J. R. (2005). The role of the honeybee's brain in decision making. *Insect Behavior and Physiology*, 48 (2), 90-102.

Seeley, T. D. (1985). Honeybee ecology: A study of adaptation in behavior and ecology. *Princeton University Press*.

Menzel, R., & Greggers, U. (1985). The role of learning in honeybee navigation. *Animal Behaviour*, 33 (2), 303-312.

Wehner, R., Menzel, R., & Rossel, S. (1996). The honeybee's navigational system and its use of cognitive maps. *Journal of Experimental Biology*, 199 (7), 1521-1535.

Frisch, K. V. (1927). The dance language and orientation of bees. *Journal of Comparative Physiology*, 7 (1), 1-25.

Winston, M. L. (1987). *The biology of the honey bee*. Harvard University Press.

捌、未來展望

1. 蜜蜂飛出巢穴時，決定轉向的依據為何？是因為蜜源植物位於特定方向，或是蜜蜂具有族群性的固定習慣（如習慣性左轉或右轉）？
2. 偵查蜂回巢後，是透過什麼方法告訴追隨蜂食物的顏色訊號？

※本報告書之圖照，除特別說明（如圖1）外，皆由作者群親自進行拍攝或繪製。

【評語】030313

1. 主要針對蜜蜂對糖水濃度、顏色、酸度、香味等多方面的偏好，並探討了環境因子對蜜蜂行為的影響，對於授粉生態與養蜂管理議題有所相關。
2. 使用攝影機全程記錄蜜蜂行為，並進行多次實驗以確保數據的穩定性和代表性。對於蜜蜂對顏色偏好的解釋可以更深入，探討其生物學機制。
3. 對於數據的呈現，應要注意品質提升與科學方式呈現的要求。

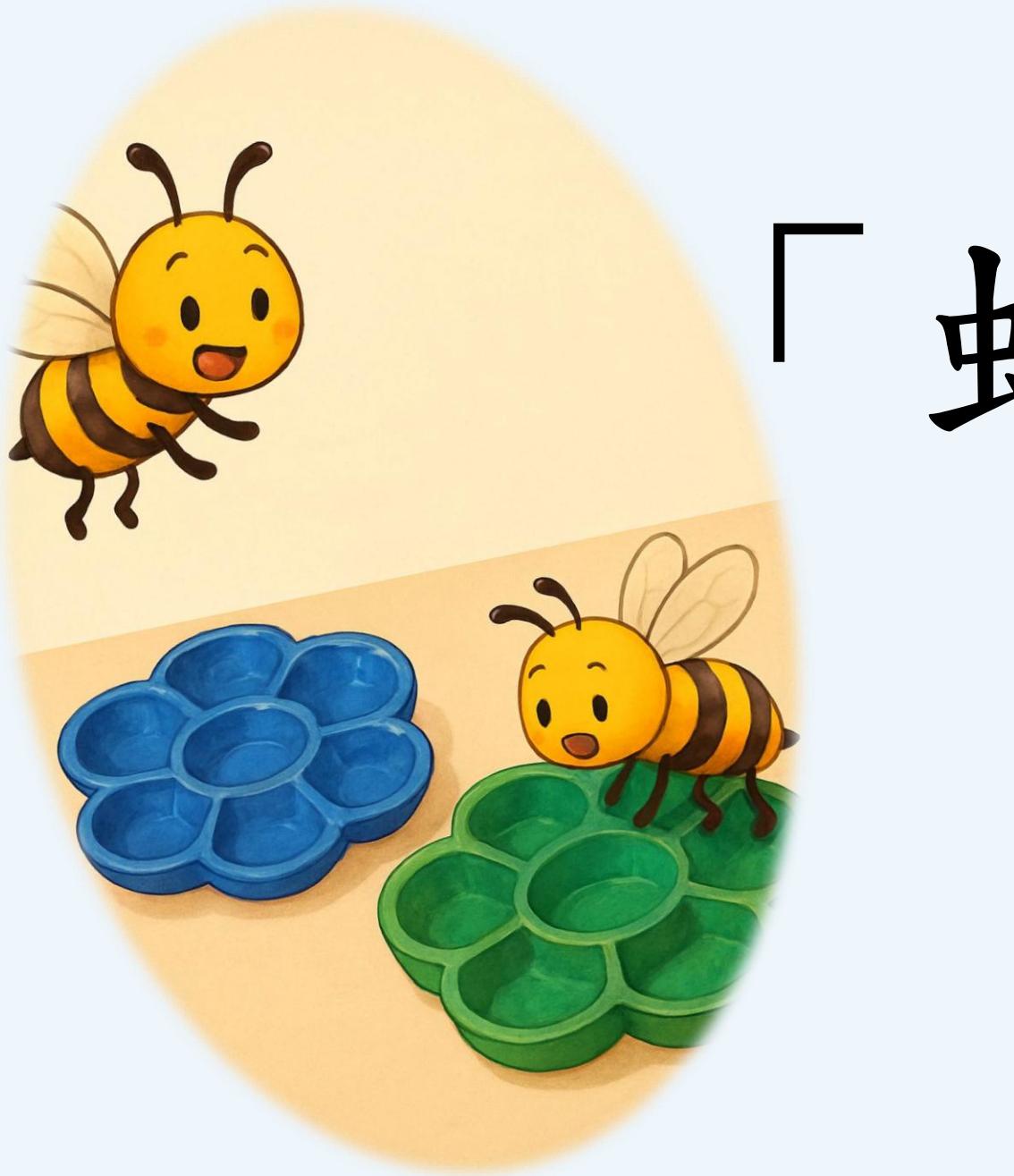
以下幾點建議：

1. 須了解蜜蜂對於花選擇性的喜好，結合入實驗後即更具有分析的邏輯性。
2. 圖的說明需要更為詳細(如圖 12-14；圖 28-52；圖 35-36；圖 47-52)。
3. 研究結果顯示蜜蜂對於添加玫瑰油或是百合花氣味的糖水顯示出排斥行為，這些是否有可能是因為所使用的添加物是經純化或是高濃度，因此已經與原先花的情況不同？再者，在材料與方法中也未說明其所添加的產品名稱以及如何控制濃度，因此讓此研究並未具有科學意義。

4. 對於短期記憶的實驗，應可以多思考，目前難以呈現出短期記憶所顯示出的影響。
5. 建議整體數據呈現可以更有邏輯性。對於討論章節，可以多結合文獻，得以更深度的探討實驗所得。

作品海報

「蜂」塵僕僕 – 蜜蜂的採蜜 偏好與認知行為研究



摘要

本研究探討環境因子對蜜蜂行為的影響，涵蓋飛行方向、食物選擇、溝通呼叫及禦敵行為等方面。結果顯示，蜜蜂明顯偏好高濃度糖水，並對短波長顏色(如藍色和紫色)表現出強烈吸引，這與牠們的感光細胞特性相符。蜜蜂離巢時，展現出顯著的正趨光性，並能依靠記憶和空間學習優化飛行路徑，表明牠們具備高度的導航能力。有趣的是，巢口顏色對蜜蜂的出入口選擇並無顯著影響，顯示牠們依賴其他環境線索進行決策。此外，蜜蜂在採蜜過程中可能會傳遞食物的「顏色」訊息，幫助追隨蜂更有效率地尋找蜜源，提升覓食的整體效能。禦敵行為中，蜜蜂無法透過視覺識別天敵，但能通過釋放費洛蒙訊號，發動群體聚集與防禦，這顯示蜜蜂在集體行動中的協作與智慧。

研究目的

食物選擇

1. 蜜蜂是否會對非蜜源植物之食物產生興趣？
2. 蜜蜂是否能辨識並偏好特定顏色的食物？
3. 糖水的濃度、酸度及香味來源是否影響蜜蜂的取食偏好？



出入巢行為

4. 蜜蜂進出蜂巢是否具有特定的方向偏好？
5. 蜜蜂進出巢穴時是否對特定顏色有所偏好？
6. 巢框擺放位置是否影響蜜蜂出入蜂巢的方向選擇？

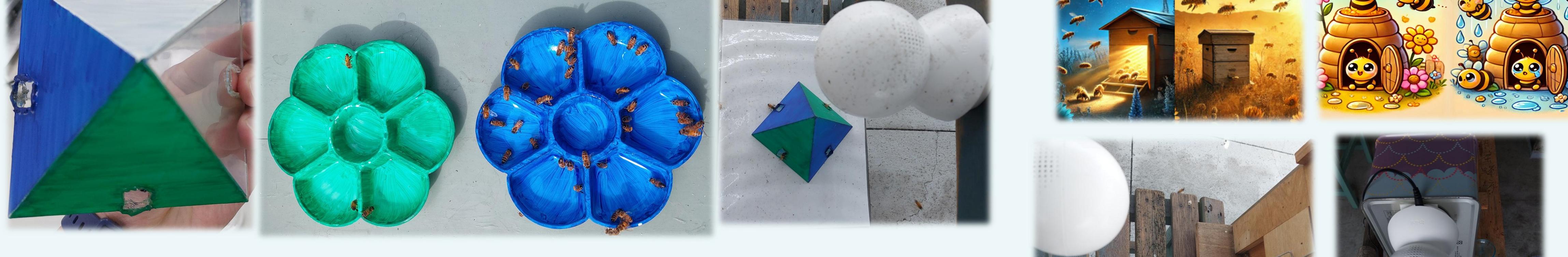


環境因子調控

7. 溫度與濕度是否影響蜜蜂的出勤活躍程度？
8. 日照時長是否影響蜜蜂當日的總工作時長？

認知與記憶能力

9. 偵查蜂是否會傳遞蜜源之顏色訊息，亦或者是具有短期記憶？



研究過程與方法

(一)蜜蜂是否會對非蜜源植物之食物產生興趣？

在蜂巢10~20公尺的範圍內，隨機放置裝有50%糖水的白色調色盤。並記錄蜜蜂是否前來取食，與取食完畢的所需時間。

(二)蜜蜂是否能辨識並偏好特定顏色的食物？

在調色盤中使用壓克力顏料塗成紅、橙、黃、綠、藍、紫、黑、白八色，並加入50 %的糖水各15公克，分別觀察蜜蜂的取食偏好。

(三)糖水的濃度、酸度及香味來源是否會影響蜜蜂的取食偏好？

準備三種不同濃度的糖水：50 %、33.3 %、16.7 %並隨機擺放調色盤，兩個調色盤放置10公分以內，以確保食物同時被發現。酸度實驗中，在蜂巢內擺放兩個相同之食盆，分別放置相同濃度(50%)的糖水，並加入檸檬汁稀釋10倍、20倍、40倍，而在香味實驗中，則分別加入百合花瓣、蜂蜜或玫瑰油，觀察蜜蜂對這些添加物的偏好。數據處理與收集：以上所有實驗皆重複操作2或以上，確保數據穩定，拍攝後使用軟體，以每60秒截取一張影像計算蜜蜂總數，並使用卡方檢定比較整體選擇差異。

(四)蜜蜂進出蜂巢是否具有特定的方向偏好？

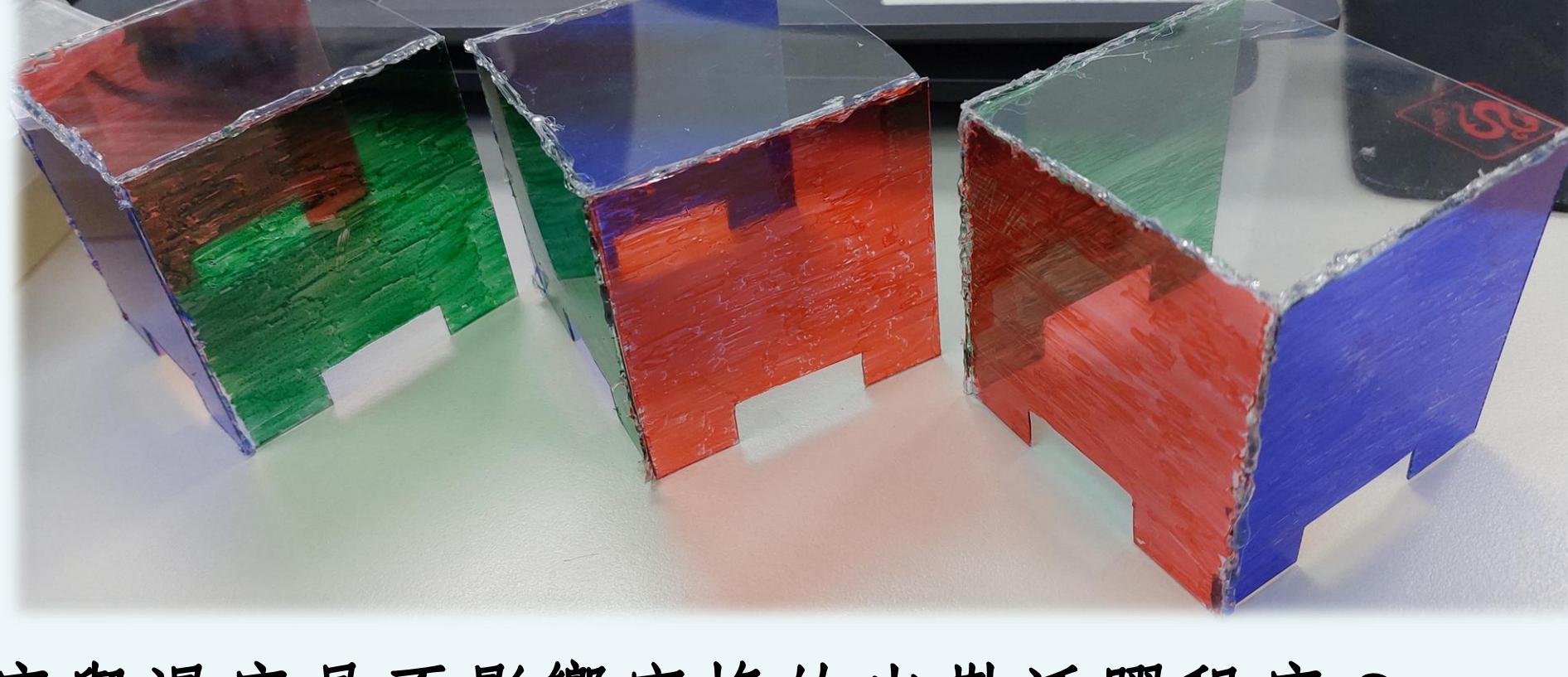
初始將蜂巢放置於屋簷下，並將模型固定於蜂巢出口，巢口朝向西方。數日後，依序旋轉巢口90°，分別朝向南、東、北方，並記錄蜜蜂進出的行為變化。

(五)蜜蜂進出巢穴時是否對特定顏色有所偏好？

將模型的三面分別塗上藍紅綠(紅綠藍，綠藍紅)，並輪流固定於蜂巢出口，觀察顏色排列對蜜蜂選擇行為的影響。

(六)巢框擺放位置是否影響蜜蜂出入蜂巢的方向選擇？

在完成前述實驗四、五後，將巢框位置對調，由左轉至右，或由右轉至左，並重新進行觀察，確認巢框擺放是否會影響蜜蜂的進出偏好。以上實驗四至六數據處理與收集，每30分鐘抽樣觀察兩分鐘，作為分析樣本。使用卡方檢定比較整體選擇差異。



頂樓屋屋簷下
西方



(七)溫度與濕度是否影響蜜蜂的出勤活躍程度？

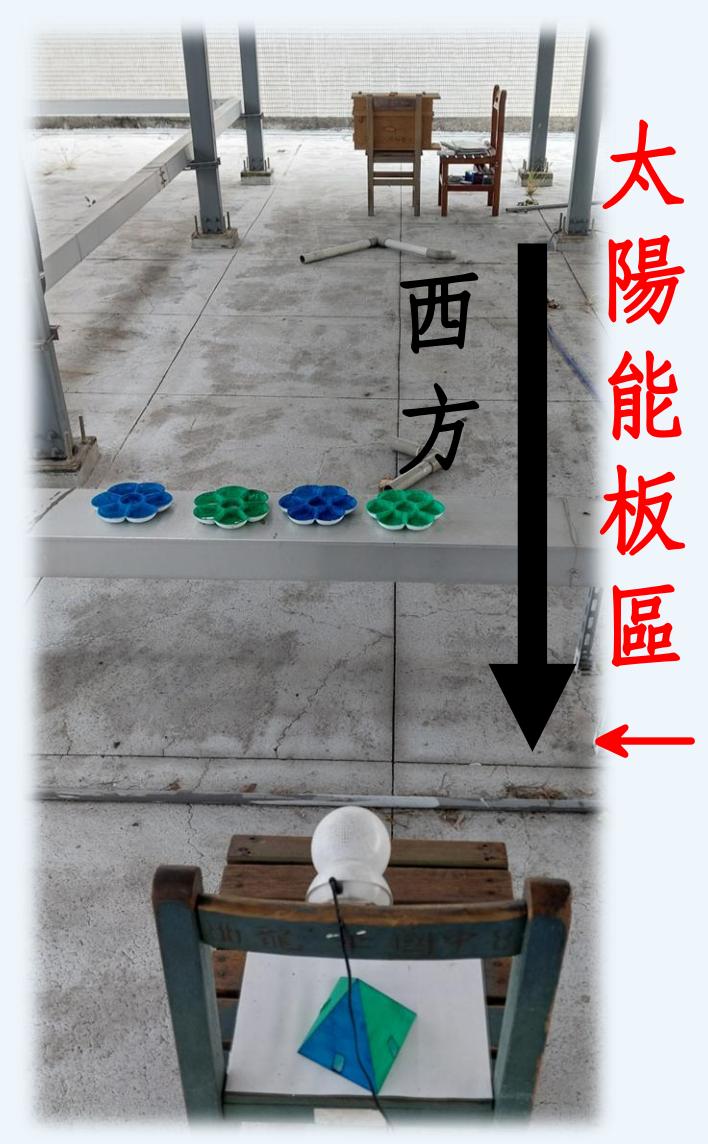
數據分析：每日工作時間內，每小時的整點與半點，記錄環境溫度與濕度，計時2分鐘，統計此期間內進出蜂箱的蜜蜂總數，作為出勤量指標。繪製折線圖，視覺化溫度、濕度與蜜蜂出勤數的變化關係。

(八)日照時長是否影響蜜蜂當日的總工作時長？

蜜蜂活動時間的定義：若兩分鐘內出巢的蜜蜂數量超過6隻，則記錄為當日的「開工時間」；若兩分鐘進入巢的蜜蜂數量低於6隻，則記錄為當日的「收工時間」。數據分析：紀錄開工與收工時間點，並對照當日高雄的日光時間。比較蜜蜂開工時間與日出時間及收工時間與日落時間的關係，以散布圖呈現趨勢，並繪製線性回歸曲線，計算 R^2 值。

(九)偵查蜂是否會傳遞蜜源之顏色訊息，亦或者是具有短期記憶？

於蜂巢前方15~20公尺處放置50%濃度糖水與純水的調色盤各一，確保含糖調色盤的顏色每天隨機指定（藍色或綠色），防止蜜蜂形成長期記憶，在調色盤附近、相同方向放置正四面體模型（兩面藍色、兩面綠色），每個面底部皆有洞口供蜜蜂進入，並在正四面體中央內部放置糖水小碟。數據處理與收集：將時間切割成前期與蜜蜂大量聚集的時段，繪製成長條圖，探討蜜蜂在實驗開始時是否有某個顏色偏好，以及中後期這樣的偏好是否被扭轉。



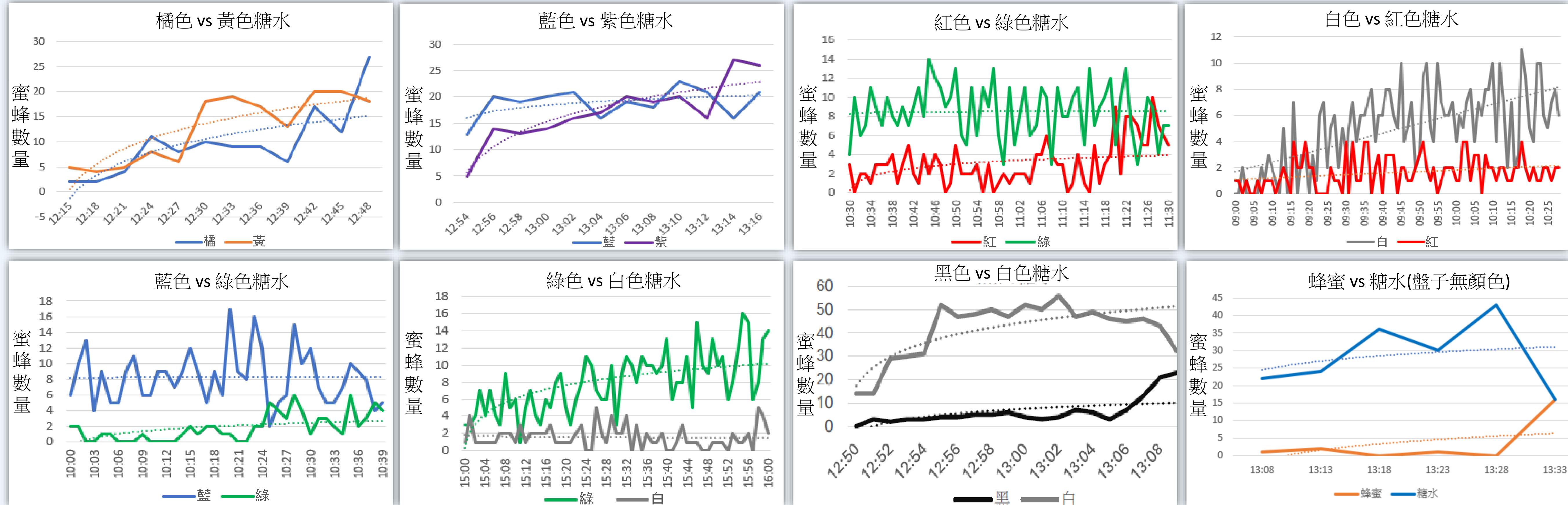
研究結果

(一)蜜蜂是否會對非蜜源植物之食物產生興趣？

研究發現蜜蜂會在放置糖水的位置持續徘徊、探索並嘗試取食，接著會有大量追隨蜂到達調色盤附近取食，直到整盤糖水被吃完為止，過程約持續1~3小時不等，支持蜜蜂會將調色盤視為穩定食物來源。

(二)蜜蜂是否能辨識並偏好特定顏色的食物？

蜜蜂對顏色的選擇偏好由高到低依序為：藍>紫>綠>橘>黃>白>紅>黑。研究顯示蜜蜂對藍色及紫色具有最明顯的偏好，而對紅色和黑色最不感興趣。



(三)糖水的濃度、酸度及香味來源是否影響蜜蜂的取食偏好？

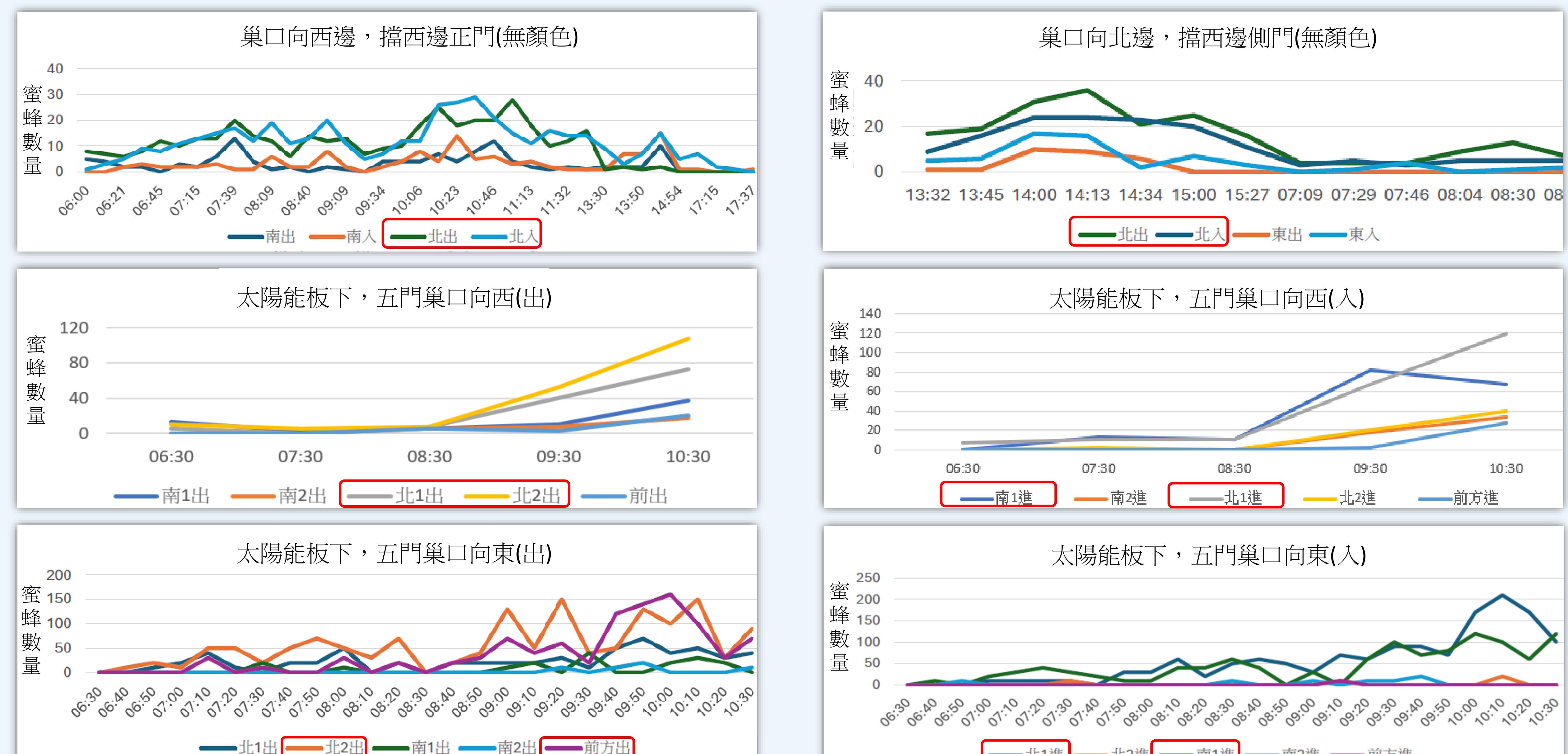
糖水濃度：蜜蜂明顯偏好最高濃度的糖水，其次為中等濃度，而較少取食低濃度的糖水，($p < 0.001$)。

酸度：適量的檸檬汁能夠提升蜜蜂的取食偏好，而過度稀釋的效果則不顯著。10倍稀釋檸檬汁添加50%糖水對50%糖水的偏好($p < 0.001$)，與10倍稀釋檸檬汁添加對40倍稀釋檸檬汁添加均達顯著水準($p < 0.001$)，而10倍稀釋檸檬汁添加對20倍稀釋檸檬汁添加偏好效果不顯著($p = 0.158$)。

香味：蜜蜂對於添加玫瑰油或百合花氣味的糖水表現出排斥行為($p < 0.001$)，添加後顯著降低其取食意願，同時也不偏好蜂蜜。

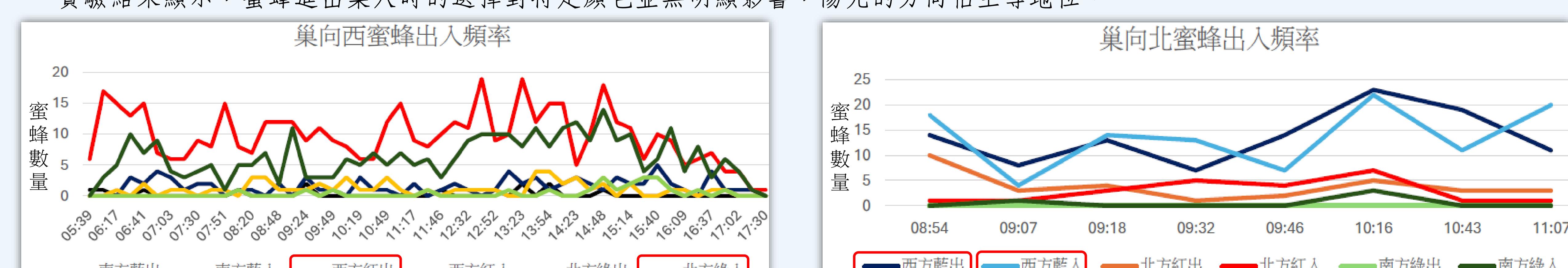
(四)蜜蜂進出蜂巢是否具有特定的方向偏好？

實驗結果顯示，蜜蜂傾向朝向光線較強的方向飛出。回巢行為則與出巢時不同，以效率為主要考量。



(五)蜜蜂進出巢穴時是否對特定顏色有所偏好？

實驗結果顯示，蜜蜂進出巢穴時的選擇對特定顏色並無明顯影響，陽光的方向佔主導地位。



(六)巢框擺放位置是否影響蜜蜂出入蜂巢的方向選擇？

結果顯示，巢口向西時，西方為光線來源，不論巢框靠右或靠左，蜜蜂皆會偏愛西方與北方，說明巢框擺放對蜜蜂出入方向沒有明顯影響。

(七)溫度與濕度是否影響蜜蜂的出勤活躍程度？

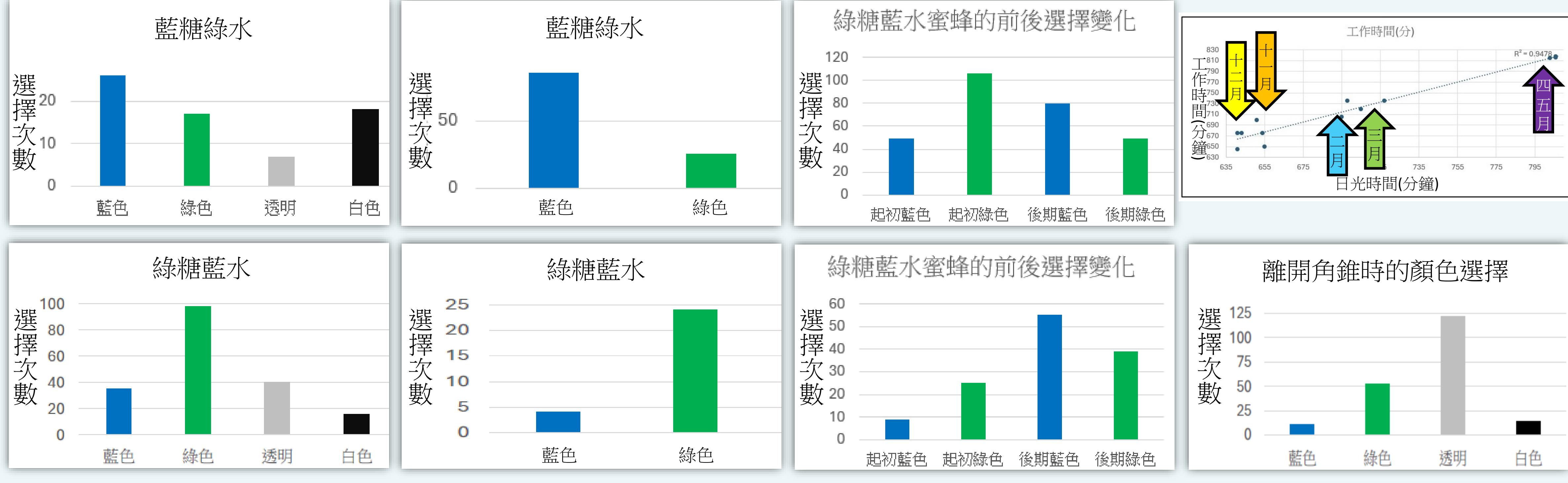
實驗結果顯示，蜜蜂的出勤活躍程度受到多種環境因素的影響，影響程度為：時間>濕度>溫度。蜜蜂通常在中午時段最為活躍，以不同日期相比時，結果顯示，濕度與活動量成負相關，溫度與活動量呈正相關。冬季蜜蜂的活動量顯著較低，春季隨著氣溫回升，活動量顯著增加。

(八)日照時長是否影響蜜蜂當日的總工作時長？

實驗結果顯示，蜜蜂的開工時間大多落在清晨6:00至6:30之間；收工時間則主要落在17:00至18:30之間，並隨著春季的到來逐漸延後，以最大化覓食機會。結果顯示蜜蜂工作時間與日照長度呈現高度正相關。線性回歸分析的結果進一步支持這一趨勢，趨勢線的決定係數($R^2 = 0.95$)，證明日光時間是影響蜜蜂工作時間的主要因素之一。

(九)偵查蜂是否會傳遞蜜源之顏色訊息，亦或者是具有短期記憶？

研究發現蜜蜂的進食選擇受到糖水顏色的影響，且行為模式會隨時間變化。當糖水為藍色時，蜜蜂偏好藍色門；當糖水為綠色時，初期偏好綠色門，但隨時間推移，偏好逐漸回歸甚至更偏好藍色門。這暗示蜜蜂的回巢溝通行為可能伴隨著食物的顏色訊號，並且蜜蜂具有視覺學習與記憶機制，會根據經驗調整其顏色偏好以提高尋食效率。



討論

本研究發現蜜蜂具備高度的學習與記憶能力，能靈活調整取食行為，與前人所指出的行為模式一致。牠們對糖水的搜尋模式與自然花蜜取食行為相符，顯示具備穩定的食物搜尋策略。在顏色方面，和以前的資料一致，蜜蜂對藍色與紫色最敏感，對紅色感知能力弱。卡方分析顯示不同顏色吸引力具顯著差異，支持蜜蜂的視覺偏好與感光受器有關。本研究進一步發現，蜜蜂對糖水顏色的偏好會隨時間與學習經驗改變，例如初期偏好綠色門，後期又轉向藍色門，顯示蜜蜂具有動態學習與調整能力。糖水濃度實驗顯示蜜蜂偏好高濃度糖水，與前人觀察一致，反映其能有效選擇高能量來源，且取食行為通常於1~2小時內完成，展現快速決策能力。酸度方面，適量檸檬汁提升了取食偏好，支持蜜蜂能容忍一定酸度並可能提升辨識能力。但過高酸度則降低吸引力，顯示其偏好存在範圍。本研究新發現顯示，蜜蜂對適中酸味表現出明顯偏好，未來可應用於提升人工飼料吸引力設計。光線實驗顯示蜜蜂傾向朝強光方向飛行，與過去觀察一致；在光線不明顯時，顏色成為輔助因素，且顯示蜜蜂偏好某些顏色位置如綠色門。回巢時的路徑選擇則顯示牠們具備多因導向的導航能力。雖巢框位置影響不大，但蜜蜂偏好北方出入口，推測與當地食物分布方向相關。溫度、濕度與日照時長的統計分析顯示，蜜蜂活動受環境因子高度影響，尤其日照時長與活動時間正相關，與春季蜜蜂工作時間增加的趨勢相符。氣味部分，蜜蜂對玫瑰油與百合花氣味表現出排斥行為，與預期相反，可能因氣味中某些酚類或萜類化合物產生驅避作用。此外，對蜂蜜氣味的反應亦不強，顯示其氣味偏好不單與花香相關，而可能與揮發物質種類與濃度有關，為本研究一項新發現。最後，本研究在顏色偏好隨時間變化的現象中發現，蜜蜂能學習食物與顏色的關聯，且可能透過搖擺舞不僅傳遞位置，亦傳遞顏色訊息，此為視覺與社會行為整合的新線索，突顯其學習、記憶與群體溝通間的潛在關聯。

結論

- 蜜蜂會對非蜜源植物提供的食物產生興趣，並能夠記憶食物來源並返回尋找。
- 蜜蜂最喜歡藍色，對顏色的選擇偏好排序如下:藍色>紫色>綠色>橘色>黃色>白色>紅色>黑色。
- 蜜蜂對高濃度的糖水及檸檬汁有偏好，不偏好玫瑰花、百合花與蜂蜜。
- 蜜蜂的出入方向偏好會受到光線的影響，偏向從最亮的出口飛出，而回巢時則選擇效率較高的入口。
- 蜜蜂的出入巢方向並不受到特定顏色的偏好影響。
- 巢框的擺放位置對蜜蜂出入方向無明顯影響。
- 低溫與高濕度會顯著降低蜜蜂的工作活躍度，而在較溫暖與乾燥的環境中，蜜蜂的工作活躍度較高。
- 蜜蜂的工作總時長與日照時長成正相關。
- 蜜蜂的回巢溝通行為可能伴隨著食物的顏色訊號。

未來展望

- 蜜蜂飛出巢穴時，決定轉向的依據為何？是因為食物位於特定方向，還是蜜蜂的族群性習慣(如習慣性左轉或右轉)？
- 偵查蜂回巢後，是透過什麼方法告訴追隨蜂食物的顏色訊號？

參考文獻

- 周靜靜, 陳大明, 李小紅, & 王強. (2002). 蜜蜂觸覺系統與覓食行為研究. 生物學報, 45(3), 123-130.
- Abou-Shaara, H. (2014). The foraging behaviour of honey bees, *Apis mellifera*: A review. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 24 (1), 94-100.
- Bloch, G., Toma, D. P., & Robinson, G. E. (2001). Behavioral rhythmicity, age, and division of labor in honey bee colonies. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 50 (1), 1-8.
- Dyer, A. G., Rosa, M. G. P., & Reser, D. H. (2011). Honeybees (*Apis mellifera*) learn color discriminations via differential conditioning independent of long wavelength (green) photoreceptor modulation. *PLoS ONE*, 6(11), e28577.
- Ellis, M. B., Hayes, G. W., & Ellis, J. D. (2008). The effects of environmental factors on honeybee foraging behavior. *Florida Entomologist*, 91 (1), 76-79.
- Frisch, K. V. (1937). The dance language of the honeybee. *Journal of Comparative Physiology*, 5(3), 225-259.
- Frisch, K. V. (1927). The dance language and orientation of bees. *Journal of Comparative Physiology*, 7(1), 1-25.
- Human, H., Nicolson, S. W., & Dietemann, V. (2006). Do honeybees, *Apis mellifera scutellata*, regulate humidity in their nest? *Naturwissenschaften*, 93 (9), 397-401.
- Kevan, P. G., & Lane, M. A. (1985). Flower, nectar and pollination ecology of Aceraceae in southern Ontario. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B. Biological Sciences*, 226(1244), 361-376.
- Kevan, P. G., & Baker, H. G. (2001). The role of pollinators in ecosystem services. *Ecology and Evolutionary Biology*, 22(2), 123-145.
- Menzel, R., Wehner, R., & Ruther, J. (2005). Cognitive mapping and the honeybee's navigation system. *Biological Cybernetics*, 92(3), 315-322.
- Moore, D., Angel, J. E., Cheeseman, I. M., Fahrbach, S. E., & Robinson, G. E. (1989). Timekeeping in bees: The role of circadian rhythms in foraging behavior. *Science*, 244(4910), 1581-1583.
- Riley, J. R. (2005). The role of the honeybee's brain in decision making. *Insect Behavior and Physiology*, 48(2), 90-102.
- Raguso, R. A. (2008). Start making scents: The challenge of integrating chemistry into pollination ecology. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 128(1), 196-207.
- Seeley, T. D. (1985). Honeybee ecology: A study of adaptation in behavior and ecology. Princeton University Press.
- Menzel, R., & Greggers, U. (1985). The role of learning in honeybee navigation. *Animal Behaviour*, 33(2), 303-312.
- Wehner, R., Menzel, R., & Rossel, S. (1996). The honeybee's navigational system and its use of cognitive maps. *Journal of Experimental Biology*, 199(7), 1521-1535.
- Winston, M. L. (1987). The biology of the honey bee. Harvard University Press.

註:本海報照片及圖片皆由作者群拍攝或繪製!