

# 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

030317

泥造城堡--探討黃胸泥壺蜂「銜泥建造巢室」的  
策略

學校名稱：南投縣立宏仁國民中學

作者：  國一 林孟寬  國一 洪吏恆	指導老師：  李季篤  李宜芳
---------------------------------	-----------------------------

關鍵詞：黃胸泥壺蜂、巢室、壺口

## 摘要

本研究探討黃胸泥壺蜂『銜泥建造巢室』的生態行為。**結果一**：先吸水→做泥球→做巢室→產卵→抓獵物→封口，平均花 6 小時 13 分 32 秒。**結果二**：水與砂土攪拌→身體下壓→砂土成球狀。體長、胸部與泥球間 r 值分別為 0.84、0.71 屬高度相關，推測胸部越大，做的泥球也越大。當抱起泥球 4/5 處，以大顎、左右腳三者平均對乾濕泥球向上施力 0.043gw、0.050gw，是穩定且省力的搬運方式。**結果三**：壺蜂體長與巢底、壺口間大小為 2.67±0.14cm、2.54±0.34cm、0.66±0.09cm，r 值在 0.74、0.84 均屬高度相關，推測當體長越大，建造巢底與壺口會越大。卵被產在離壺口約 36%的巢室頂端，從上而下垂降約 38%。**結果四**：被寄生率 88.5%，壺蜂發現巢室被寄生或破壞，會出現思考性的修補或棄巢行為。

## 壹、研究動機

教室鋁門邊的角落，在星期一來學校時常常發現有小土塊黏在那裡，同學們都誤以為是有人惡作劇，把土塊丟在這裡。於是打掃時用力一揮，土塊瞬間被打碎，此時土塊內竟然散落出許多的綠色幼蟲，我們很驚訝，請教老師後，才知道原來土塊是黃胸泥壺蜂的巢，散出來的綠色幼蟲是壺蜂幼蟲的食物，真的太有趣了。為了瞭解黃胸泥壺蜂的生態，我們上網去查詢資料，沒想到打上黃胸泥壺蜂的關鍵字搜尋，就出現好多的文章，接著，為了增加資料的豐富性，也到圖書館尋找相關書籍，不過相較下網路的資料真的比圖書館來的多且方便。但是，網路資料多且冗雜，經過閱讀彙整後，也發現了許多疑問？例如明明作者不同，卻出現一字不漏的相同內容，或者同一個壺蜂行為，卻有多種不同觀察結果，不禁讓我們懷疑網路上這麼多的資訊都正確嗎？

對於這麼多樣的訊息，我們很困惑，在跟老師討論後，老師提醒我們，對於想研究的問題，仍然要以研究科學的觀察、產生疑問、文獻探討、提出假設、實驗、結果分析、結論等七大步驟為主軸（文獻一），逐一去做實驗找答案與驗證，不可過於盲目相信網路資料。再以課本所學的內容加以思考，尤其當實驗獲得的結果與他人不同時，要理性判斷或者再重新提出新假設進行求證，追根究柢找出答案。老師的提醒我們牢牢記住，因此在運用網路資料時格外謹慎，更把教科書中第一章孕育生命的世界、第二章顯微鏡的使用、第五章動物的行為、第七章解決問題的方法，結合數學、物理等概念，去實驗並解釋黃胸泥壺蜂建造巢室的行為。

## 貳、研究目的

- 一、研究黃胸泥壺蜂銜泥建造巢室的過程
- 二、研究黃胸泥壺蜂如何把砂土做成泥球與運送
- 三、研究黃胸泥壺蜂建造巢室大小的依據
- 四、研究黃胸泥壺蜂的天敵對建造巢室有何影響

## 參、研究設備及器材

- 1.手機
- 2.攝影機 (SONY)
- 3.顯微鏡 (Dino-Lite)
- 4.自製尺
- 5.量角器
- 6.筆電
- 7.水盆與冰塊
- 8.電子秤 (ATY-124、SNUG-300)
- 9.保麗龍盒
- 10.解剖顯微鏡

## 肆、研究方法

### 研究一、探討黃胸泥壺蜂建造巢室的過程

實驗目的：找出黃胸泥壺蜂建造巢室的完整過程與花費的時間

#### (一) 實驗前的生態觀察與閱讀前人研究報告後的想法：





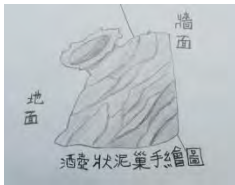

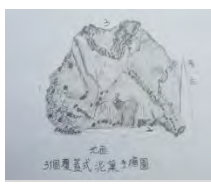
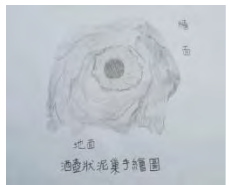
實驗前，我們在 107 年 10 月 14 日~108 年 5 月 31 日進行生態觀察，我們記錄 122 個樣本，發現黃胸泥壺蜂喜歡在圍牆空心磚內與鋁門邊角築巢，有的模樣像酒壺狀，有的被泥土覆蓋（如表 1），我們把巢室特徵畫下，並且閱讀了 3 篇關於建造泥巢時間的科展報告。

第一篇：『土樓神秘客』結果指出，黃胸泥壺蜂築巢大約耗時半個月，以每天 0.5~1 個酒壺型巢穴的速度，一個接一個堆疊，在 1 至 2 天的時間內，完成築巢的工作（文獻八）。

第二篇：『陶藝大師』結論指出，黃胸泥壺蜂築巢只要半天就可以築好（文獻九）。

第三篇：『泥壺內的秘辛』指出，研究期間沒有機會觀察築巢完整過程（文獻十二）。**閱讀報告後的想法，前人對於築巢時間統計範圍大，我們想了解建造一個巢室到底要花費多少時間。**

表 1：黃胸泥壺蜂巢室的『觀察與手繪巢室』動手實驗操作流程圖

			
1.觀察一：發現巢室	2.觀察二：發現巢室	3.觀察三：鋁門邊巢室	4.觀察四：多個巢室
			
5.繪圖一：酒壺狀巢室	6.繪圖二：土塚巢室	7.繪圖三：土塚巢室	8.繪圖四：酒壺巢室

#### (二) 觀察與閱讀後我們產生的疑問：

閱讀 3 篇前人報告後，每個作者對於黃胸泥壺蜂築巢的時間觀察『結果都不同』，而令我們感到疑惑？這些不同結果會不會與我們觀察到『酒壺狀、土塚狀』等多樣巢室形狀有關。

(三) 提出假設：我們提出黃胸泥壺蜂建造巢室花費的時間，包括『銜土做巢、產卵、捉獵物、封口等四個階段』的假設。

#### (四) 動手實驗解決疑問：

步驟 1.觀察築巢位置：我們利用每節下課到校園尋找黃胸泥壺蜂蹤影，在不同的時間裡，確定 3 隻壺蜂正要在空心磚內築巢，立刻用攝影機拍攝完整過程。

步驟 2.拍攝時間：上、下課時間攝影機持續拍攝，再依據影片中的影像畫面去分析黃胸泥壺蜂銜土往返時間、產卵時間、捕捉 3、6、8 隻獵物的時間，直到壺口被泥球封住為止，算是完成一個巢室。實驗操作流程照片，如表 2。

表 2：記錄黃胸泥壺蜂『建造泥巢』過程的動手實驗操作流程圖照（N=3）

				
1.全程拍攝築巢	2.記錄銜泥數量	3.記錄捉 3 隻獵物	4.記錄捉 6 隻獵物	5.封口完成巢室

## 研究二、研究黃胸泥壺蜂如何把砂土做成泥球與運送

實驗目的：找出黃胸泥壺蜂建造的泥球為何是類圓球形，而不是其它形狀的原因

### (一) 實驗前的生態觀察與閱讀前人文章後的想法：

從研究一的結果知道了，壺蜂製造巢室的過程很繁複，尤其我們對於壺蜂能夠把砂土做成類似圓形而感到很好奇？實驗前，我們在網路上閱讀了 5 篇壺蜂製造泥球相關的文章。

第一篇：『以口攪拌成泥球』（文獻十三）。第二篇：『在泥地攪和出泥球』（文獻十四）。

第三篇：『以口水潤濕乾土，混合成泥球』（文獻十五）。第四篇：『飛到乾泥沙地上和成泥巴球』（文獻十六）。第五篇：文章指出，『前往泥地上攪和出一顆泥球』（文獻十七）。

閱讀後獲得的想法是『5 篇文章的結果都很相似』，但是並沒有解開我們心中的疑問。

### (二) 觀察與閱讀後我們產生的疑問：

我們產生了 2 個疑問。第一個疑問，黃胸泥壺蜂『為何把泥做成圓球狀？而不做成其它形狀？』。第二個疑問，黃胸泥壺蜂自己怎麼知道『泥球要做多大、多重呢？』。

### (三) 提出假設：

我們提出『圓是一種穩定性高的形狀，所以壺蜂把泥做成圓球狀，做多大與壺蜂體形有關』的實驗假設。

### (四) 動手實驗解決疑問：

實驗 2-1 目的：求證壺蜂做出『類圓形泥球而不做其它種形狀』實驗

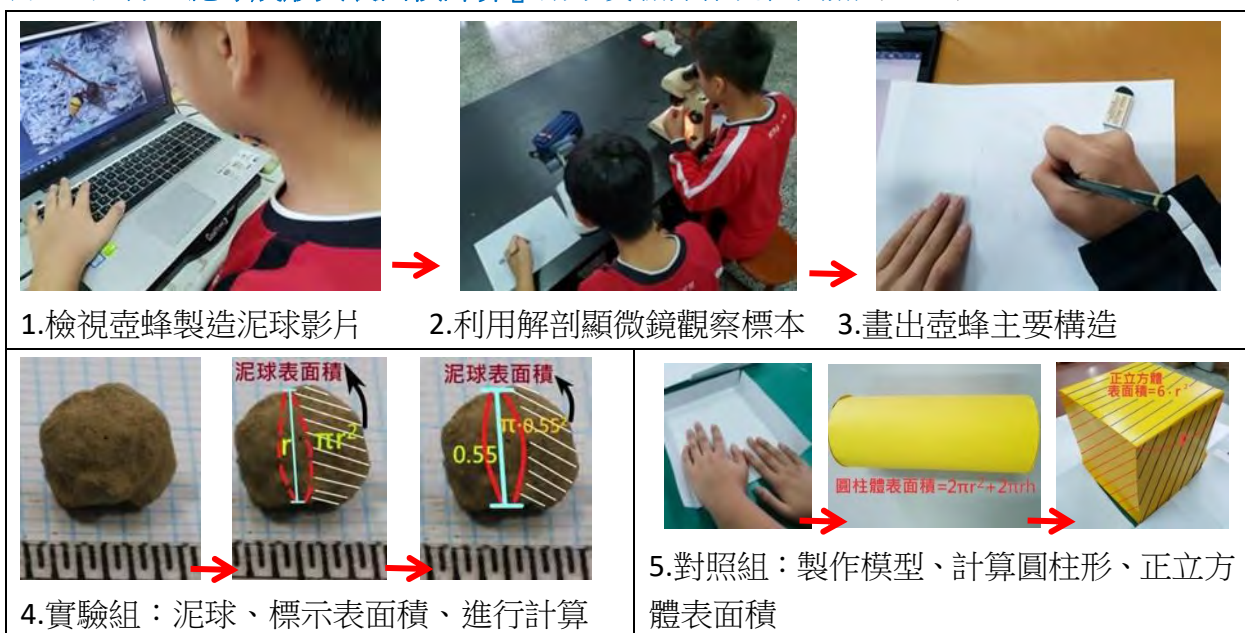
步驟 1. 泥球『定形』的觀察：重複檢視 6 隻壺蜂在不同地方製造泥球的影片，並擷取影片中壺蜂用大顎、前腳、胸部等構造，去把砂土做成類圓泥球過程。再利用解剖顯微鏡觀察標本，把攪拌泥土的大顎、環抱泥球的前腳構造放大再畫下特徵。

步驟 2. 進行泥球做球形而不做它種形狀實驗：以 23 粒泥球平均值及圓柱體、正立方體為例。

實驗組—假設泥被做成球體：當直徑為  $r$ ，求出表面積為： $4\pi \times (1/2r)^2 = \pi r^2$ 。

對照組—假設泥被做圓柱體與正立方體：當邊長為  $r$ ，求出圓柱體表面積為： $2\pi r^2 + 2\pi rh$ 、正立方體表面積： $r^2 \times 6 = 6r^2$ ，藉由比較三者形狀表面積的大小，來判定自然界中昆蟲製造形狀的可能性。實驗操作流程，如表 3。

表 3：進行『泥球成形與表面積計算』動手實驗操作流程圖照 (N=23)





**實驗 2-2 目的：求證壺蜂泥球要做多大、多重與『成蟲胸部大小』有關**

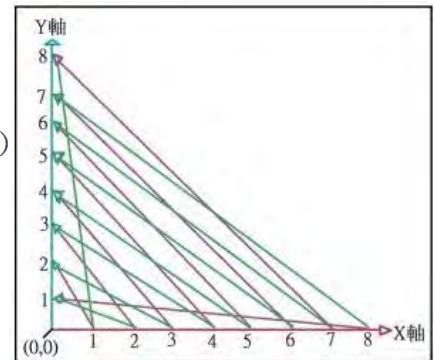
**步驟 1.成蟲與泥球的『採集』：**採集 6 隻築巢中成蟲與掉落在地面的 23 粒泥球。

**步驟 2.計算成蟲『胸部』面積：**另外再採集 15 隻，共 21 隻雌性成蟲，放入約攝氏 16° 有冰塊的保麗龍盒內，等成蟲活動力降低，再移到具有刻度的方格紙上測量胸部直徑與面積，採用行列式計算面積。方法是先找出代表圖形的八個點，再估算出八個點的平面座標(X,Y)，最後將八個點用行列式表示，以求出胸部面積。計算方式如圖（1）：

$$\frac{1}{2} \left| \begin{array}{cccccccc} x_1 & x_2 & x_3 & x_4 & x_5 & x_6 & x_7 & x_8 & x_1 \\ y_1 & y_2 & y_3 & y_4 & y_5 & y_6 & y_7 & y_8 & y_1 \end{array} \right| \div 100$$

$$= \frac{1}{2} \left| (x_1y_2 + x_2y_3 + x_3y_4 + x_4y_5 + x_5y_6 + x_6y_7 + x_7y_8 + x_8y_1) \right.$$

$$\left. - (x_2y_1 + x_3y_2 + x_4y_3 + x_5y_4 + x_6y_5 + x_7y_6 + x_8y_7 + x_1y_8) \right| \div 100$$



圖（1）利用行列式計算面積圖示

**步驟 3.測量泥球『大小、重量與面積』：**我們撿拾拋棄在泥巢邊 23 粒泥球，測量直徑與面積。

**實驗組--濕泥球秤重：**把方格紙放在小數點四位的電子秤上，先歸零後，再用滴管擠出小水滴，水滴統一在 0.02g，再把乾泥球放上變成濕泥球，秤出最接近剛做好泥球時重量。

**對照組--乾泥球秤重：**把泥球逐一放到方格紙上，再用小數點四位的電子秤上秤泥球重量。根據求出的數據，分析『泥球大小』與『胸部』間關係。實驗操作流程照片。（如表 4）

表 4：關於『製造泥球的大小依據』動手實驗操作流程圖照

1.捕捉雌成蟲	2.暫時放盒子內	3.準備冰塊	4.放入成蟲	5.靜止不動測體長
6.計算胸部面積	7.收集泥球（1）	8.收集泥球（2）	9.收集泥球（3）	10.收集 23 粒泥球
11.對照組：測量泥球大小、秤重量、算面積	12.實驗組：統一水滴重變成濕泥球再秤重量			

### 研究三、研究黃胸泥壺蜂建造巢室大小的依據

實驗目的：找出黃胸泥壺蜂建造『巢底與壺口』的依據

#### (一) 實驗前的生態觀察與閱讀前人文章後的想法：

從研究二結果知道了，製造與搬運泥球的方式，研究過程中我們對於黃蜂泥壺蜂如何丈量巢室底部大小與塑形壺狀上端圓形大小，感到很好奇。實驗前，我們閱讀了 3 篇相關資料，第一篇：泥壺蜂建造泥壺的雛型，留下一個小洞口作為產卵與塞入獵物的出入口（文獻二）。第二篇：牠們在築好的泥巢上留下一個小開口，接著將腹部尾端插入巢中產下卵（文獻六）。第三篇：泥壺蜂巢穴都有做出「壺口」與「壺頸」的外觀模樣（文獻八）。**閱讀後獲得的想法是『3 篇報告都說留下一個小洞口或壺口，結果都很相似』，但並沒有解開我們的疑問。**

#### (二) 觀察與閱讀後我們產生的想法與疑問：

我們產生 2 個疑問，第一個疑問，壺蜂巢室最下層的『巢底是依據什麼條件丈量而成？』。第二個疑問，前人資料所指出產卵用的『壺口大小又是依據何種條件塑造出來？』。

表 5：觀察巢室『巢底與壺口』後產生的疑問圖照



#### (三) 提出假設：

我們提出泥巢『巢底與壺口的建造大小』與『成蟲體形大小』間有關係的假設。

#### (四) 動手實驗解決疑問：

步驟 1.成蟲『丈量巢底』：觀察壺蜂建造巢室時，會依照體長的大小去丈量巢底的大小。

步驟 2.成蟲『體長』的測量：採集 21 隻雌性成蟲，放入約 16°~20° 的保麗龍盒內，等到成蟲活動力降低，放在有刻度的方格紙上測量體長，以及頭、胸、腹最寬部位直徑。

步驟 3.『巢底與壺口』內徑的測量：使用自製尺，測量 37 個巢底直徑與 61 個壺口直徑大小。依照結果分析體長、體寬與巢室的巢底、壺口間關係。

表 6：測量『壺蜂體長 (N=21) 與巢底 (N=37)、壺口 (N=61)』動手實驗操作流程圖照





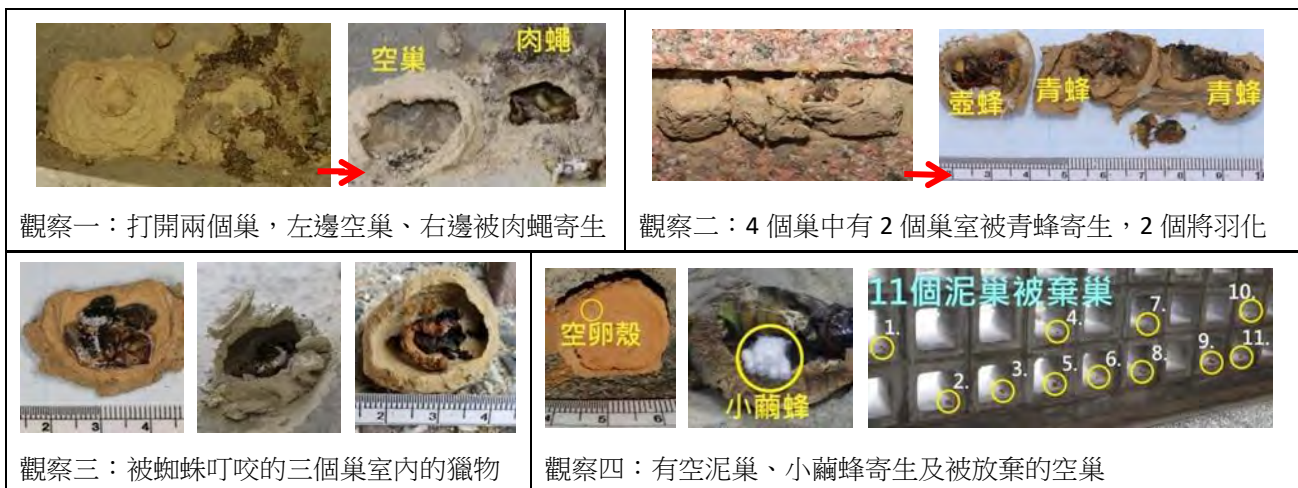
## 研究四、研究天敵對建造巢室的影響

實驗目的：找出『天敵寄生的方法，以及寄生後對壺蜂建造巢室的影響』

### (一) 實驗前的生態觀察與閱讀前人研究後的想法：

在進行研究三採集巢室實驗測量時，我們意外發現有不少的巢室都被天敵寄生，我們很好奇這些天敵是如何在壺蜂巢室內寄生？實驗前，閱讀了 2 篇關於壺蜂被寄生的前人科展報告。第一篇報告指出，巢穴內發現寄生蜂殼蛹，推測泥壺蜂幼蟲在未離開巢前就死亡（文獻八）。第二篇報告指出，赭腰圓領蝶羸泥壺內成功率偏低，推測蜘蛛、寄生蠅和寄生蜂等入侵生物數量有關（文獻十二）。閱讀後獲得的想法是『壺蜂的巢容易被寄生，而我們記錄到有肉蠅、青蜂、蜘蛛、小繭蜂、螞蟻等天敵會入侵到巢室內，還有被棄巢沒成形的巢室』。

表 7：實驗前我們進行採集『發現 22 個泥巢被寄生』的初步記錄圖照



### (二) 觀察後產生的疑問：

我們產生了 2 個疑問，第一個疑問，『天敵到底是如何進入壺蜂巢室裡面寄生？』。第二個疑問，『寄生對壺蜂建造泥巢有什麼影響？』。

(三) 提出假設：我們提出『天敵以守株待兔』伺機的方式進入巢室內寄生的假設。

### (四) 動手實驗解決疑問：

步驟 1. 觀察天敵『守株待兔』的寄生方式：我們利用觀察壺蜂築巢時，記錄天敵埋伏在巢室附近寄生的方式，除了實驗前觀察的 22 個樣本之外，我們再採集 100 個樣本，持續歸納出天敵的種類與寄生率。（如表 8）

步驟 2. 天敵對建造中巢室的影響：記錄壺蜂在建造巢室，天敵出現寄生後，對巢室的影響。

步驟 3. 天敵對完成巢室後壺蜂的影響：記錄壺蜂初步完成巢室後，天敵寄生對壺蜂的影響。

表 8：觀察『天敵守株待兔寄生』動手實驗操作流程圖照



## 伍、研究結果

### 研究一、探討黃胸泥壺蜂銜泥建造巢室的過程結果

表 9：記錄黃胸泥壺蜂『建造巢室』結果流程圖照



圖 ( 2 ) 壺蜂建造巢室過程與花費時間

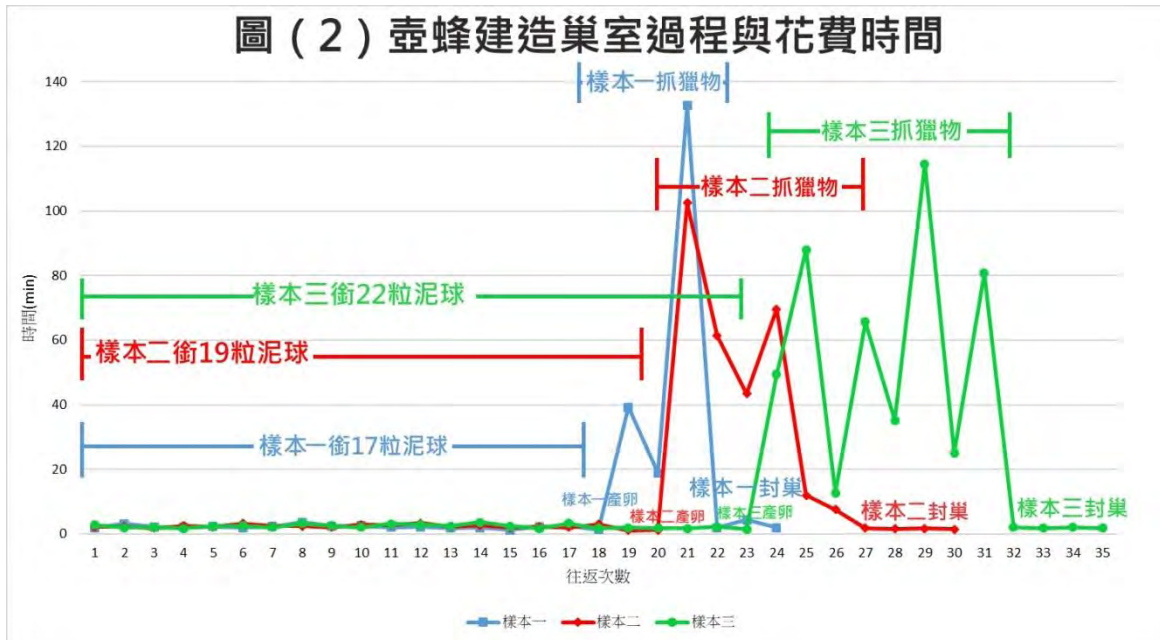


圖 ( 2 ) 說明：壺蜂建造巢室，大約銜了 17~22 顆泥球、產 1 粒卵、抓 3~8 隻獵物，用 3~4 顆泥球封巢。( N=3 )

圖 ( 3 ) 壺蜂建造一個巢室往返平均花費時間

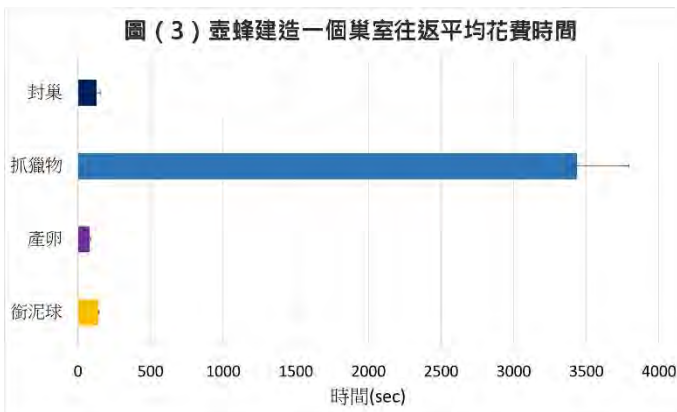


圖 ( 3 ) 說明：壺蜂築一個巢室，往返時間：  
 1.銜一顆泥球平均往返 140sec±3sec。( N=58 )  
 2.產一顆卵平均 82sec±5sec。( N=3 )  
 3.抓一隻獵物平均往返 3437±354sec。  
 ( N=17 )  
 4.封口平均往返約 127sec±28sec。( N=11 )  
 5.築好一個巢室平均需要花費 6 小時 13 分鐘  
 32 秒 ( N=3 )



## 實驗後的好奇與存疑？

研究一的結果雖然符合了實驗假設，但是在實驗過程中我們對於黃胸泥壺蜂建造巢室過程中，『飛出去到飛回來之間去做的事情』感到很好奇？例如『飛出去，是到乾土上做泥球嗎？』、『做一顆的泥球要花費多少時間？』以及『飛回來時，帶的泥球為何是濕的？』等問題。

於是到圖書館閱讀了五本相關書籍尋找答案：第一本書指出，泥壺蜂往往飛去潮濕泥地取回材料，如果沒有潮濕的泥地，泥壺蜂會去尋找植物莖幹間積水處，先吸取水分之後再混合（文獻二）。第二本書指出，泥壺蜂媽媽會先吸足水，然後飛到有泥土的地方（文獻三）。第三本書指出，在某處喝水，再飛到某顆白蟻築巢枯木上面的泥土，吐出水做成球狀的泥團（文獻四）。第四本書指出，開始尋找潮濕的泥土，然後一次又一次的親自搬運（文獻五）。第五本書指出，黃胸泥壺蜂會先吸水，再選擇適合的泥土或沙（文獻六）。

根據我們的觀察與閱讀五本書資料後，有三個想法：第一、我們觀察到壺蜂都在『乾土上做泥球』。第二、有的書中寫『直接找濕泥地』、有的說『先吸水再找適合的沙土』，『順序與結果不一樣』。第三、關於做一顆泥球需要花費時間，沒有一本書告訴我們答案。因此在多種不同的想法下，我們更是存疑？決定再做實驗尋找答案。（如表 10）

表 10：我們觀察到壺蜂『在乾土做泥球』與到圖書館借書閱讀流程圖照

				
1.我們架設的攝影機拍到壺蜂飛到乾土附近	2.看到壺蜂停在乾土上做泥球	3.又看到壺蜂在白蟻的乾泥板上在做泥球	4.到圖書館找相關書籍閱讀解惑	5.書中對於壺蜂做泥球的地方，有多種說法

## 再次提出實驗新假設：

由於前人書中寫著『直接找濕泥地做泥球』的內容，只有敘述沒有圖照與實驗佐證下，我們決定根據自己觀察到的記錄（表 10），提出壺蜂是『直接在乾土上做泥球』的新假設。

## 再次實驗動手解決疑問：

步驟 1.泥球『材料』的來源：我們分別在雌壺蜂常常出現的鳳凰木、櫻花樹下的乾土旁等待，只要發現蹤跡，立刻架好攝影機，拍攝壺蜂製造泥球的過程。

























步驟 2.統計一顆泥球『花費時間』：以 6 隻做泥球中的成蟲為樣本，再從影片中去計算製造每一粒泥球必須花費多少時間，每隻重複觀察 7 次，記錄製造樣本一～四記錄 7 顆、樣本五與六只有記錄到各 2 顆泥球時間。（如表 11）

表 11：拍攝黃胸泥壺蜂『在乾土上製造泥球』動手實驗操作流程圖照

			
1.在櫻花樹下拍攝	2.在鳳凰木下拍攝	3.發現壺蜂飛來	4.停下後記錄製造泥球時間

再次實驗獲得到的結果：

表 12：黃胸泥壺蜂『製造泥球花費時間』統計結果圖照 (N=6)

<b>樣本一在乾土上：第一次製造泥球時間</b>					
					
1.飛到泥地	2.停下	3.口中吐水出來	4.做泥球	5.形成泥球	6.完成飛走
<b>樣本一在乾土上：第二次製造泥球時間</b>			<b>樣本二、在櫻花樹的白蟻泥板：製造泥球時間</b>		
					
1.停下泥地	2.做泥球	3.完成飛走	1.停在樹幹	2.做泥球	3.完成要飛走
<b>樣本三在櫻花樹前的乾土上：製造泥球時間</b>			<b>樣本四在乾土上：製造泥球時間</b>		
					
1.停到泥地	2.做泥球	3.完成飛走	1.停下泥地	2.做泥球	3.完成飛走
<b>樣本五水溝旁碎黃土上：製造泥球時間</b>			<b>樣本六黑色沙地上：製造泥球時間</b>		
					
1.停在碎泥地	2.做泥球	3.完成飛走	1.停在黑色碎沙地	2.做泥球	3.完成飛走

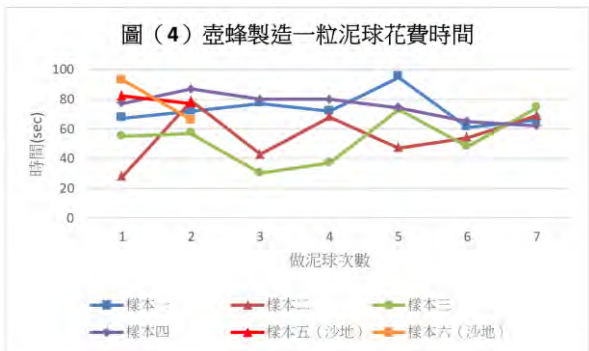


圖 (4) 說明：壺蜂製造泥球的六個樣本中，最長為 95 秒，最短為 28 秒。(N=6)

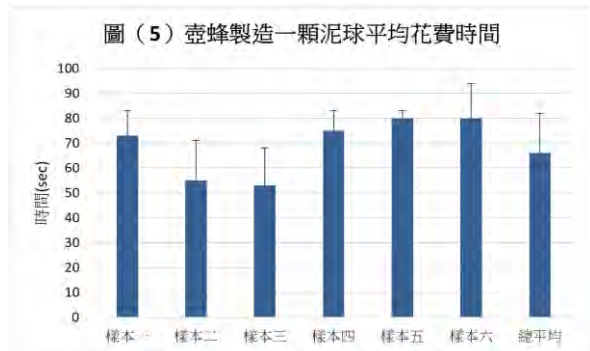


圖 (5) 說明：樣本一為 73±10 sec，樣本二為 55±16sec，樣本三為 53±15sec，樣本四為 75±8sec，樣本五為 80±3sec，樣本六為 80±14sec。總平均為 66±16sec。(N=6)



## 再次實驗後還存在的疑問？

再次實驗的結果雖然符合了在乾土做泥球的假設，可是實驗過程中意外發現，壺蜂完成泥球飛走之後，**竟然在地上留下了一大片的水漬痕跡**（如下表 13），我們當時很疑惑，壺蜂體內有這麼多水可以吐出來嗎？經過討論，我們推測有一種的可能性，就是壺蜂須從外界喝水，再吐出來，才有可能在水與泥砂攪拌後，在泥地上留下這麼大面積的水痕跡。**所以我們認為，上述再次實驗提出直接在乾土上做泥球的假設不夠嚴謹，不應該被成立，因此為了驗證推論，決定『再進行第三次實驗印證』。**

表 13：關於黃胸泥壺蜂製造泥球後『留下水漬痕跡產生疑問』的圖照（N=6）

	
1.觀察一疑問：壺蜂製造泥球後（左圖），在地上留下大片水漬痕跡（右圖）	2.觀察二疑問：壺蜂製造泥球後（左圖），在土上留下水漬痕跡（右圖）
	
3.觀察三疑問：壺蜂製造泥球後（左圖），在土上留下水漬痕跡（右圖）	4.觀察四疑問：壺蜂造泥球後（左圖），在地上留下大片水漬痕跡（右圖）

## 第三次提出新假設：

製造泥球的順序『1.飛到集水區吸水→2.再飛到乾泥土，把水與吐出來→3.接著用大顎攪拌，前腳推搓成圓球狀』的新假設。

**第三次重複實驗動手解決疑問：修改上述二次實驗假設，求證『先吸水再做泥球』的行為。**

**步驟 1.追蹤壺蜂先到『集水區』：**我們決定在雌壺蜂塗抹泥球後準備飛離時，一人留在原地目視並指出壺蜂飛離方向，一人隨著指出的方向快步跟蹤，直到雌壺蜂確定飛到水源集水區，我們也立刻停下，保持距離架好攝影機拍攝壺蜂的行為。

**步驟 2.統計『吸一次水花費時間』：**發現壺蜂吸水後，架設攝影機全程拍攝壺蜂吸水的過程，再從影片中去統計吸水的時間、次數。（如表 14）

表 14：記錄黃胸泥壺蜂『吸水時間』動手實驗操作流程圖照

			
1.追蹤壺蜂飛到了集水區	2.架好攝影機	3.等待壺蜂再度飛回來	4.記錄吸水時間



表 15：黃胸泥壺蜂『吸水一次必須花費』的時間結果圖照

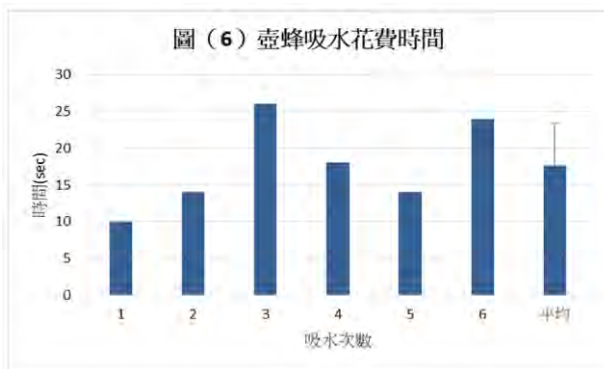


圖 (6) 說明：壺蜂六次吸水花費時間 10~26sec，平均值為 18±6sec。

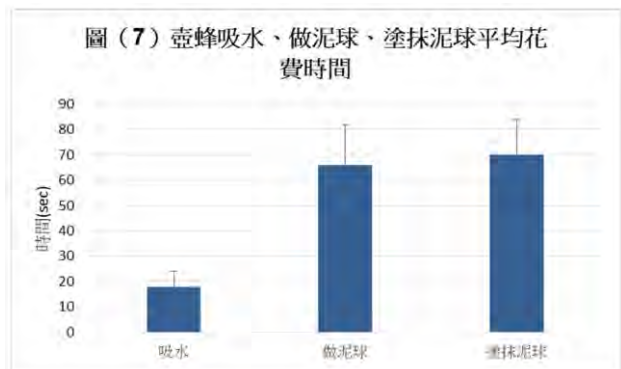


圖 (7) 說明：壺蜂平均吸水花費 18±6sec，做泥球花費 66±16sec，塗抹泥球花費 70±14sec。

## 研究二、研究黃胸泥壺蜂如何把砂土做成泥球與運送實驗結果

### 實驗 2-1：求證壺蜂做出『類圓形泥球而不做其它種形狀』的結果

1. 壺蜂製作泥球的過程分為三個步驟：①砂土的攪拌：口中吐水，大顎左右夾擊攪拌泥土，再向外往內刮土。②球塊初形成：大顎往後堆土、前腳脛節擋土，一前一後擠壓形成小土塊。③類泥球成形：大顎把小土塊往後推，左右兩個脛節夾住，最後由胸部與兩個腿節處下壓，形成類圓泥球。

2. 球體表面積  $0.97\text{cm}^2$  < 圓柱體  $1.42\text{cm}^2$  < 正立方體  $1.82\text{cm}^2$ 。所以壺蜂的沾水、胸部下壓、雙腳聚集等動作都可以幫助砂土吸附成團，依照自然法則，球狀的表面積較小、自由能最小化，相對較為穩定，因此自然界裡我們會看到昆蟲或者其他生物常常把巢室做成球狀或圓柱狀，卻很少聽過巢室被做成正立方體形狀。

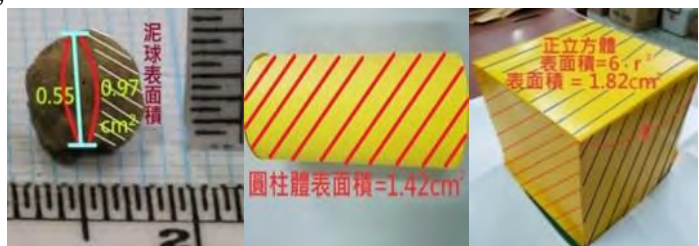
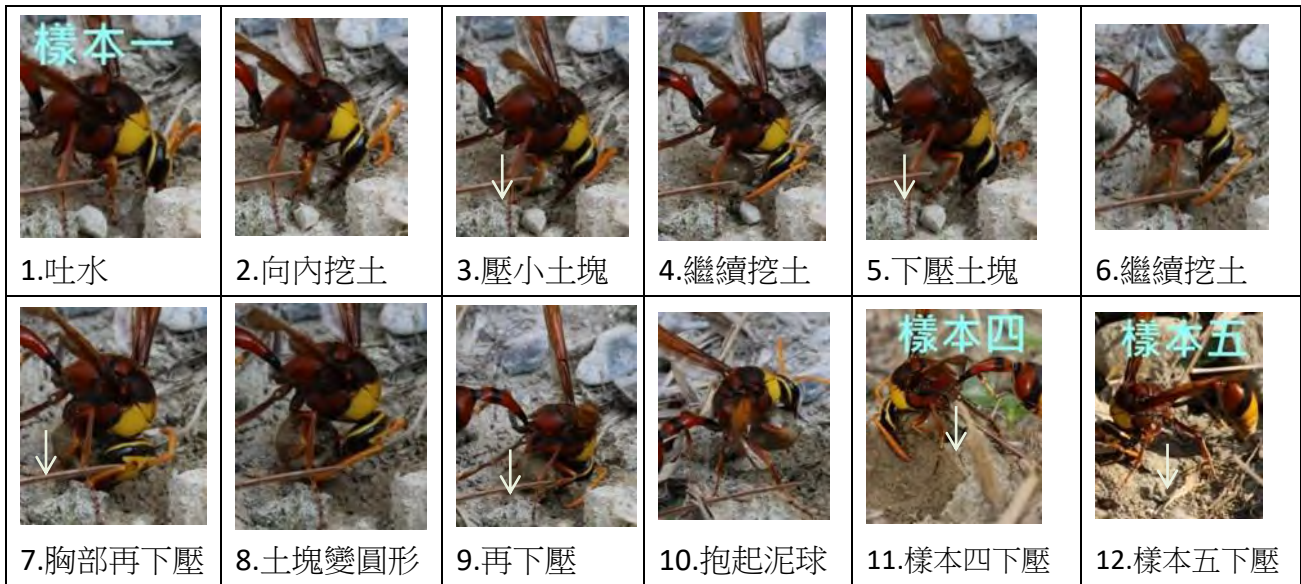


圖 (8)：3 種不同形狀的表面積結果

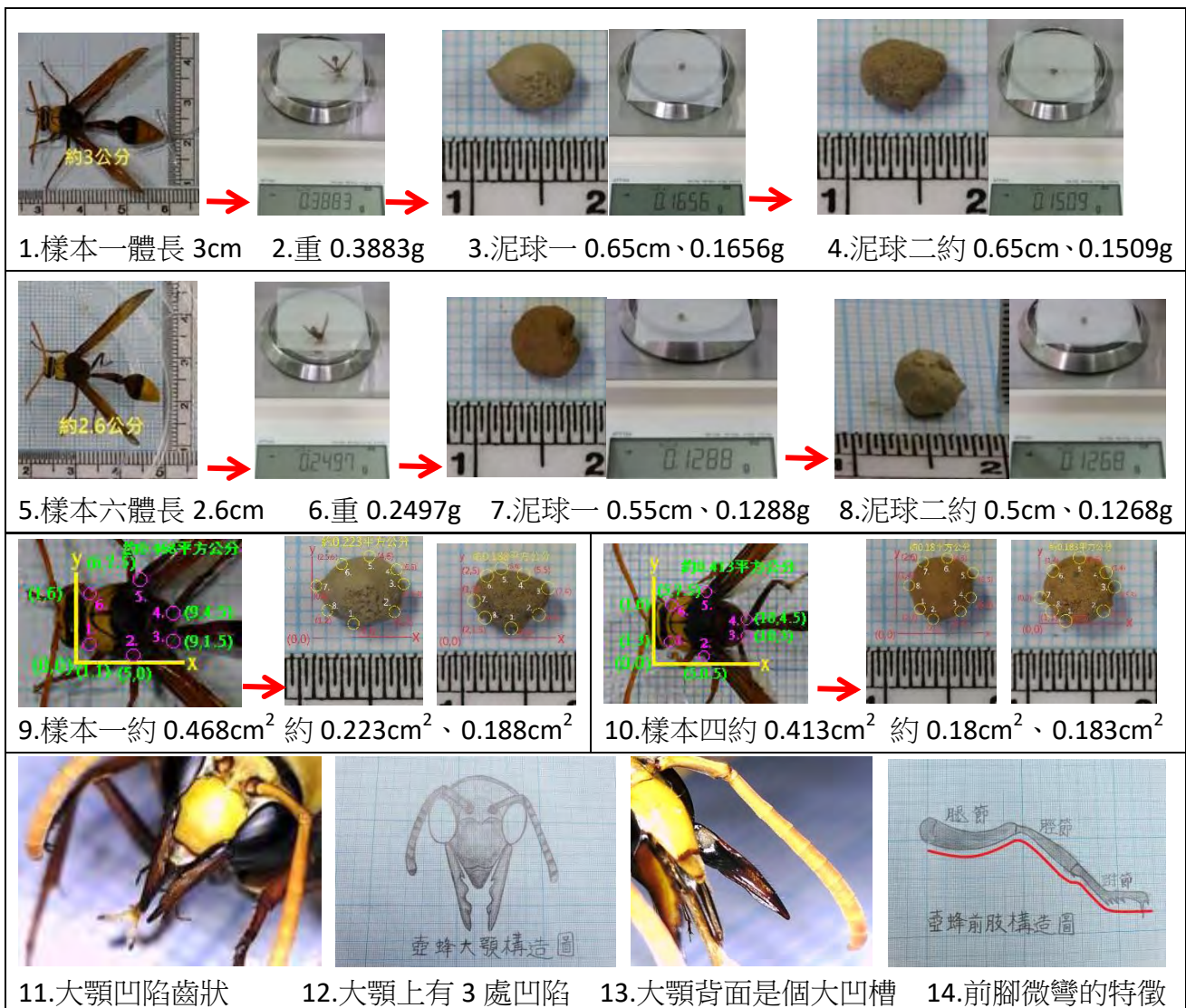


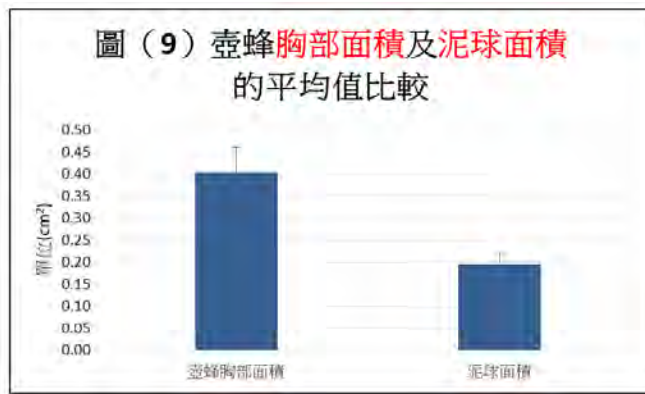
表 16：黃胸泥壺蜂利用『大顎挖土、胸部下壓把砂土做成泥球狀』的結果圖照 (N=6)



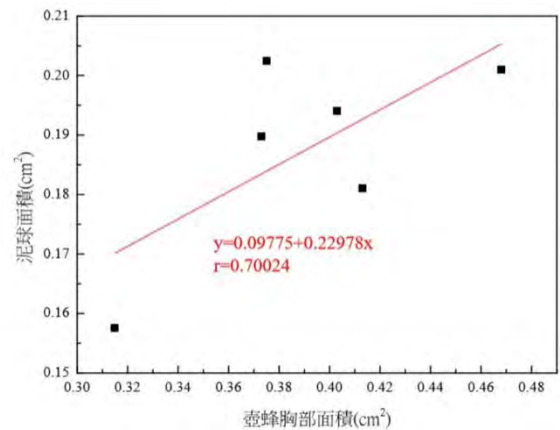
實驗 2-2：壺蜂『泥球須做多大、多重』的結果

表 17：『壺蜂體長、體重、胸部面積 (N=6) 與泥球 (N=23) 直徑、重量、面積』結果圖

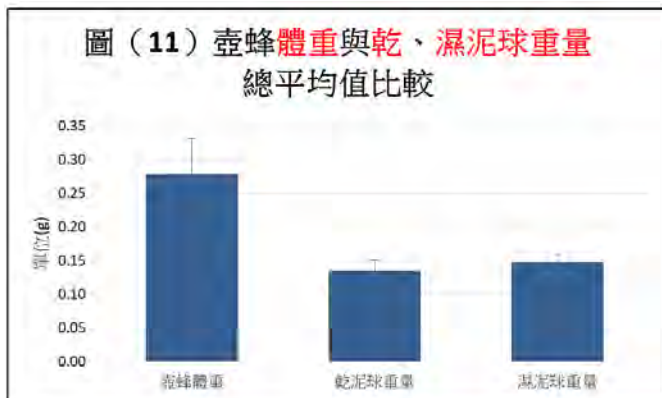




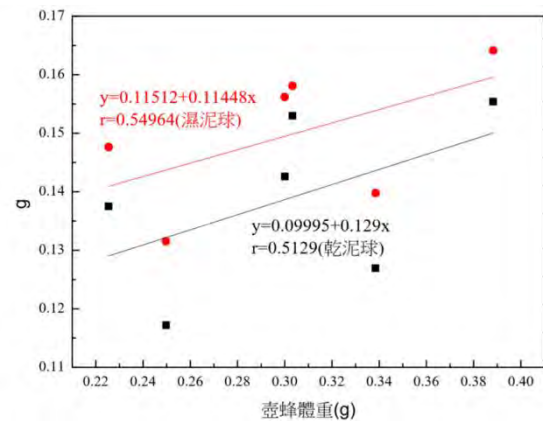
圖(9)說明：壺蜂胸部面積為  $0.40 \pm 0.06 \text{cm}^2$ ，泥球面積為  $0.20 \pm 0.02 \text{cm}^2$ 。



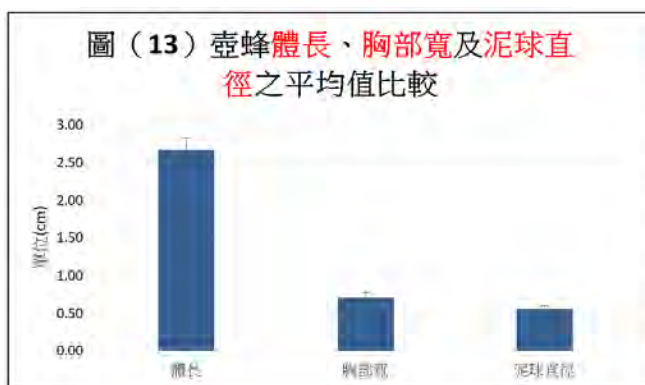
圖(10)說明：壺蜂胸部的面積與泥球面積 r 值是 0.70，屬於高度相關，可推測胸部越大，泥球也越大。



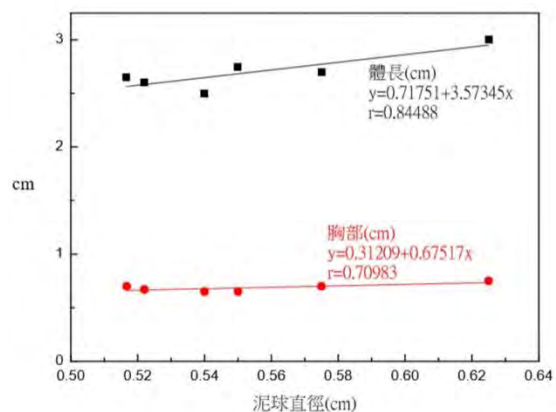
圖(11)說明：壺蜂體重為  $0.28 \pm 0.05 \text{g}$ ，乾泥球重量為  $0.13 \pm 0.02 \text{g}$ ，濕泥球重量為  $0.15 \pm 0.01 \text{g}$ 。



圖(12)說明：壺蜂的體重與乾濕泥球重量 r 值約 0.51 與 0.55，屬於中度相關，可推測兩者間重量有部分相關。



圖(13)說明：壺蜂體長為  $2.67 \pm 0.14 \text{cm}$ ，壺蜂胸部寬為  $0.70 \pm 0.07 \text{cm}$ ，泥球直徑為  $0.55 \pm 0.04 \text{cm}$ 。



圖(14)說明：泥球的直徑大小與體長、胸部間 r 值 0.84、0.71，達高度相關，可推測體長與胸部越大，製造出來的泥球會越大。



## 實驗後的存疑？

研究二的結果符合壺蜂製造的泥球大小，與壺蜂的體形有關的假設，不過我們在實驗過程中又產生了『壺蜂製造的泥球，牠是如何進行搬運』的疑問？我們閱讀了三篇文章解惑。  
**第一篇：**泥壺蜂會以大顎和前足將泥團夾住，從外地帶回（文獻七）。  
**第二篇：**泥壺蜂把泥球帶到遮陽避雨地方捏泥築巢，泥巢像一罈罈酒壺堆疊起來（文獻十四）。  
**第三篇：**銜著泥球飛到牆壁、石壁或人工建築物遮雨處，做成壺狀泥巢（文獻十七）。  
 閱讀後我們的想法是，前人資料『結果很相似』，但並沒有解答『壺蜂如何抱起泥球？如何運送泥球』的疑問？

### 再次提出實驗新假設：

我們提出壺蜂『以大顎、左右前腳三者施力夾住泥球與搬運』的假設。

### 再次實驗動手解決疑問：

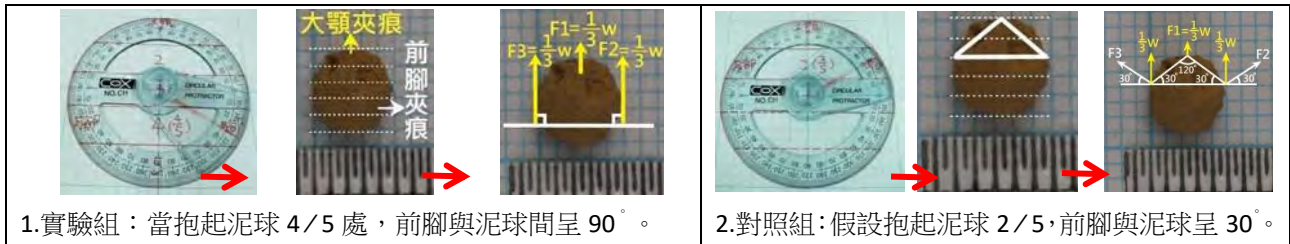
**實驗（一）目的：**找出壺蜂『抱起泥球的最佳位置範圍』

**步驟：**以 6 隻壺蜂搬運，另外撿拾掉落的 23 粒泥球，平均重量（ $w$ ）0.15gw 當樣本計算。

**1.實驗組--『抱起泥球 4/5 範圍』：**以圓形尺當測量器分成 5 個等分，再根據泥球實際大小，及大顎、左右前腳三處所抱壓的痕跡，畫出前腳抱在泥球的 4/5 處，當  $F_2 \sin 90^\circ = (1/3)w$ ， $F_1 = F_2 = F_3$ ，求出壺蜂抱泥球 4/5 位置與施力。

**2.對照組--『抱起泥球 2/5 範圍』：**假設大顎、左右前腳三處抱壓痕跡在泥球的 2/5 處，當  $F_2 \sin 30^\circ = (1/3)w$ ， $F_2 = (1/3)w / \sin 30^\circ = (2/3)w$ ， $F_2 = F_3$ 。實驗設計如下表：

表 18：關於黃胸泥壺蜂『搬運泥球最佳位置』動手實驗操作流程圖照



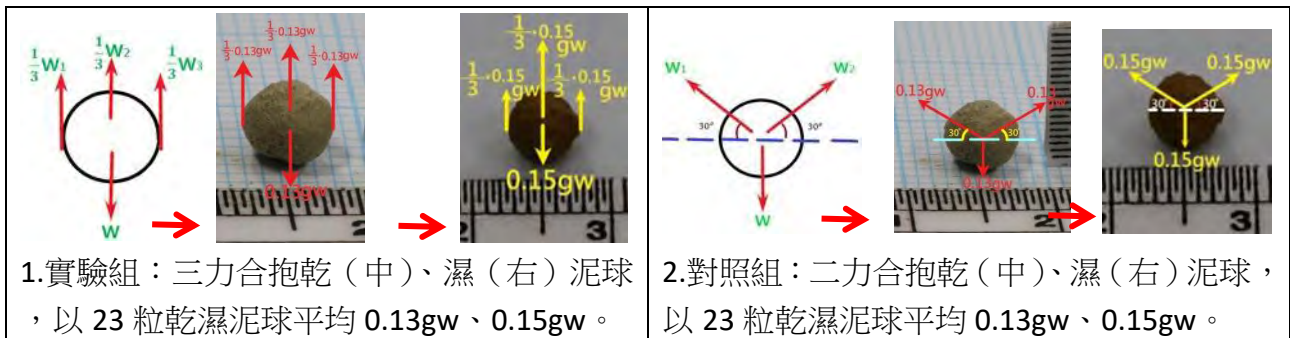
**實驗（二）目的：**找出壺蜂在『搬運泥球的施力方式』

**步驟：**分兩組實驗進行，在搬運泥球施力的過程，以 23 粒泥球平均重量（ $w$ ）0.15gw 計算。

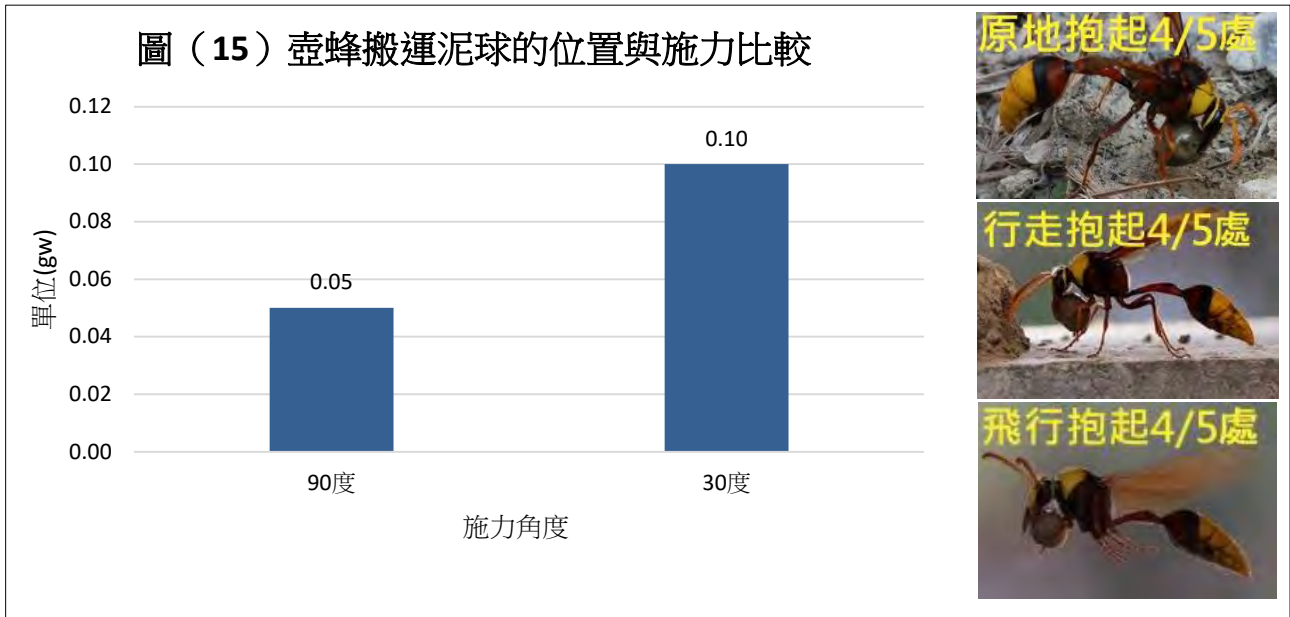
**1.實驗組--『三力合抱泥球』：**當壺蜂在環抱泥球時，假設大顎、左右前腳等三個力量一同對泥球施力，平均施力為泥球重的  $1/3$ 。

**2.對照組--『二力合抱泥球』：**假設只有左右前腳二個力量對泥球施力，且腳與泥球間呈水平夾角  $30^\circ$ 。實驗設計如下表。

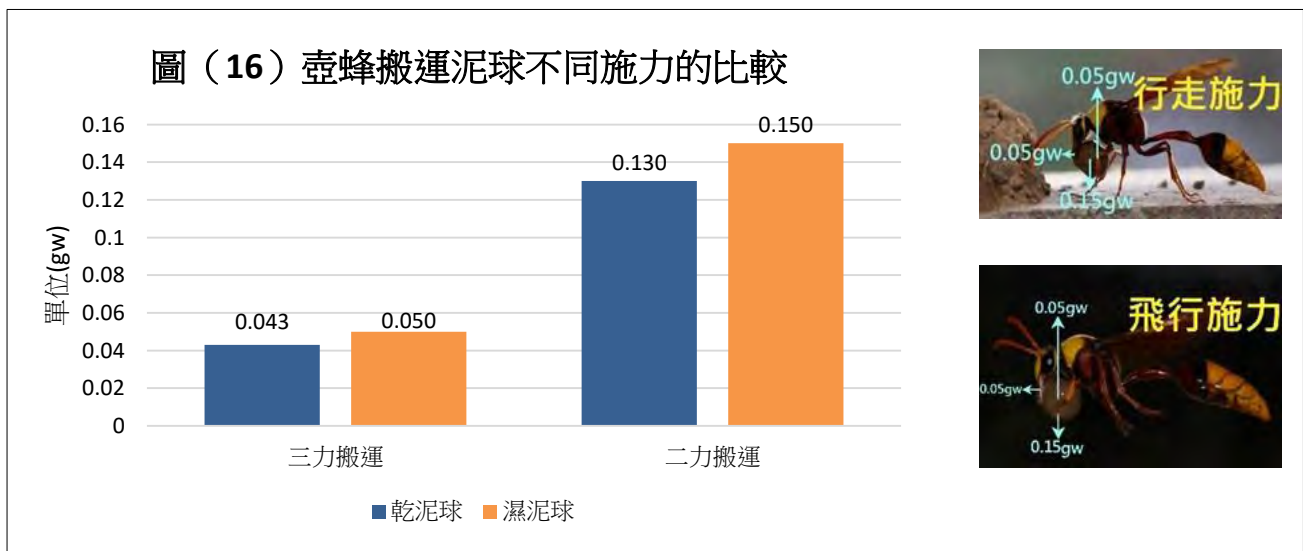
表 19：關於黃胸泥壺蜂『搬運--乾、濕泥球施力』動手實驗操作流程圖照



## 再一次實驗壺蜂在搬運泥球位置與施力的結果



- 圖 15 說明：(1) 在搬運泥球時，當抱起泥球 4/5 處，前腳的腿節橫跨泥球，脛節與跗節緊緊抱住泥球，而呈現 90°，平均對泥球施力為 0.05gw。
- (2) 當抱起泥球 2/5 處，腿節與脛節無法觸碰到泥球，可能只有最末端的跗節抱住泥球，而呈現 30°，對泥球施力會增加到 0.100gw。
- (3) 所以大範圍抱住泥球 4/5 處，支撐接觸面大，是個較為穩定的搬運位置。



- 圖 16 說明：(1) 在搬運泥球時，三力搬運對乾濕泥球施力為 0.043gw、0.050gw。
- (2) 二力搬運的乾泥球施力為 0.130gw，濕泥球施力為 0.150gw。
- (3) 大顎、左右腳三者垂直向上施力的方式，僅為泥球重的 1/3。左右腳以與水平夾腳 30° 方式施力夾起，平均施力為泥球重相同。
- (4) 所以三力合抱搬運泥球是較為省力的方式。



表 20：壺蜂在地面與飛行中『三力合抱位置與二力合抱』搬運結果圖照 (N=6)

 <p>三力合抱</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.抱泥球 4/5 處，運用三力合抱搬運泥球(左)。</li> <li>2.抱泥球 4/5 處，三力合抱中腳跨上巢室(中)。</li> <li>3.抱泥球 4/5 處，三力合抱輕易跨上巢室(右)。</li> </ol>	 <p>二力合抱</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.剛做好的泥球，大顎未夾緊泥球，以用二力合抱搬運(左)。</li> <li>2.雙腳抱住泥球(中)。</li> <li>3.搬運較為費力而重心不穩，身體常會出現身體傾斜(右)</li> </ol>		
 <p>樣本一 飛抱</p> <p>樣本一 停抱</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.第一趟三力飛抱，停下後仍以三力合抱走動</li> </ol>	 <p>樣本一 飛抱</p> <p>樣本一 停抱</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>2.第二趟三力飛抱，停下後仍以三力合抱走動</li> </ol>	 <p>樣本二 停抱</p> <p>樣本二 停抱</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>3.第一趟三力飛抱，停下後仍以三力合抱走動</li> </ol>	 <p>樣本二 停抱</p> <p>樣本二 停抱</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>4.第二趟三力飛抱，停下後仍以三力合抱走動</li> </ol>

研究三、研究黃胸泥壺蜂建造泥巢大小的依據結果

表 21：壺蜂在空心磚上依照『體長大小塗抹唾液標記巢底當作記號』的結果圖照 (N=4)

 <p>樣本一</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.尋找地點</li> </ol>	 <ol style="list-style-type: none"> <li>2.開始塗抹</li> </ol>	 <ol style="list-style-type: none"> <li>3.身體繞圈</li> </ol>	 <ol style="list-style-type: none"> <li>4.繞到對面</li> </ol>	 <ol style="list-style-type: none"> <li>5.低頭繼續塗抹</li> </ol>	 <ol style="list-style-type: none"> <li>6.塗抹一圈</li> </ol>
 <ol style="list-style-type: none"> <li>7.完成</li> </ol>	 <ol style="list-style-type: none"> <li>8.短暫停留</li> </ol>	 <ol style="list-style-type: none"> <li>9.身體站立</li> </ol>	 <ol style="list-style-type: none"> <li>10.往前走</li> </ol>	 <ol style="list-style-type: none"> <li>11.持續向前走</li> </ol>	 <ol style="list-style-type: none"> <li>12.展翅飛走</li> </ol>
 <p>樣本二</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.塗抹半圈唾液</li> </ol>	 <ol style="list-style-type: none"> <li>2.往上牆壁塗抹</li> </ol>	 <ol style="list-style-type: none"> <li>3.繞到對面</li> </ol>	 <ol style="list-style-type: none"> <li>4.低頭塗抹</li> </ol>	 <ol style="list-style-type: none"> <li>5.沿地面塗抹</li> </ol>	
 <ol style="list-style-type: none"> <li>6.牆面往地上抹</li> </ol>	 <ol style="list-style-type: none"> <li>7.又完成另半圈</li> </ol>	 <ol style="list-style-type: none"> <li>8.沿泥巢上塗抹</li> </ol>	 <ol style="list-style-type: none"> <li>9.完成展翅飛走</li> </ol>	 <ol style="list-style-type: none"> <li>10.留下痕跡</li> </ol>	



表 22：測量壺蜂『體長、頭、胸、腹大小』結果圖照 (N=21)


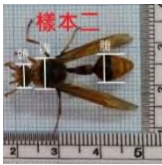
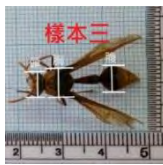






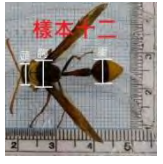

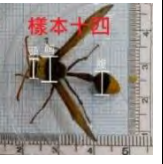
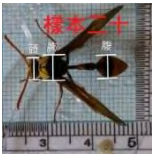
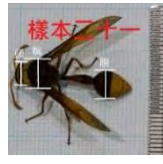

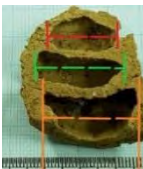

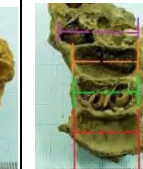
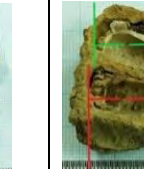
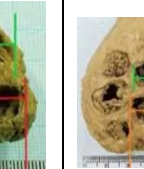
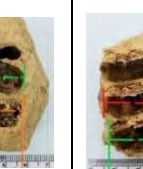


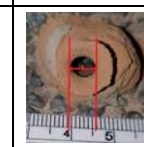
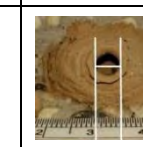

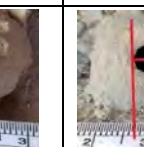








						
1.長 2.7cm	2.長 2.9 cm	3.長 2.62 cm	4.長 2.75 cm	5.長 3.0 cm	6.長 2.68 cm	7.長 2.7 cm
						
8.長 2.5 cm	9.長 2.85 cm	10.長 2.65 cm	11.長 2.6 cm	12.長 2.68 cm	13.長 2.27 cm	14.長 2.7 cm

表 23：測量壺蜂巢室『巢底 (N=37) 與壺口直徑 (N=61)』結果圖照

						
1.約 2.55、 2.8、2.7、 2.6cm	2.約 1.95、2.5 、2.7cm	3.約 2.25、 2.45cm	4.約 3.0、2.5 、2.4、2.5cm	5.約 2.35、 2.85cm	6.約 2.6、2.7 cm	7.約 3.0、2.8 cm
						
1.約 0.65cm	2.約 0.65 cm	3.約 0.6 cm	4.約 0.6 cm	5.約 0.7cm	6.約 0.75 cm	7.約 0.5 cm
						
8.約 0.65cm	9.約 0.7cm	10.約 0.6cm	11.約 0.75cm	12.約 0.8cm	13.約 0.7cm	14.約 0.6cm

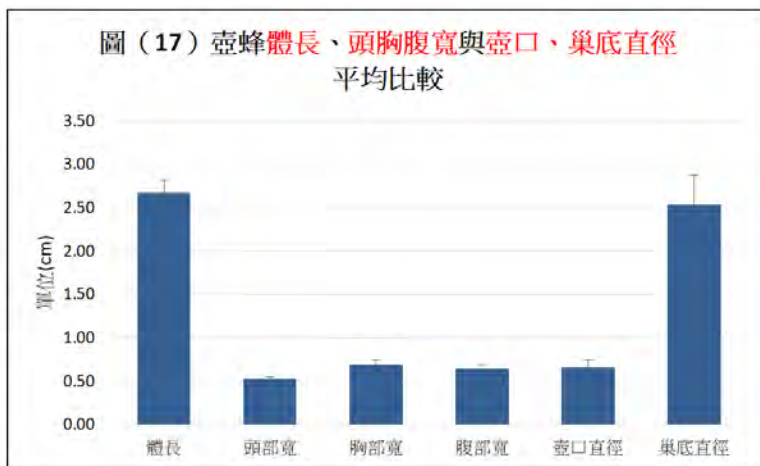


圖 (17) 說明：

壺蜂體長為  $2.67 \pm 0.14 \text{cm}$  (N=21)  
 頭部寬為  $0.53 \pm 0.02 \text{cm}$ ，  
 胸部寬為  $0.7 \pm 0.07 \text{cm}$ ，  
 腹部寬為  $0.64 \pm 0.05 \text{cm}$ ，  
 壺口直徑為  $0.66 \pm 0.09 \text{cm}$  (N=61)，  
 巢底直徑為  $2.54 \pm 0.34 \text{cm}$  (N=37)。

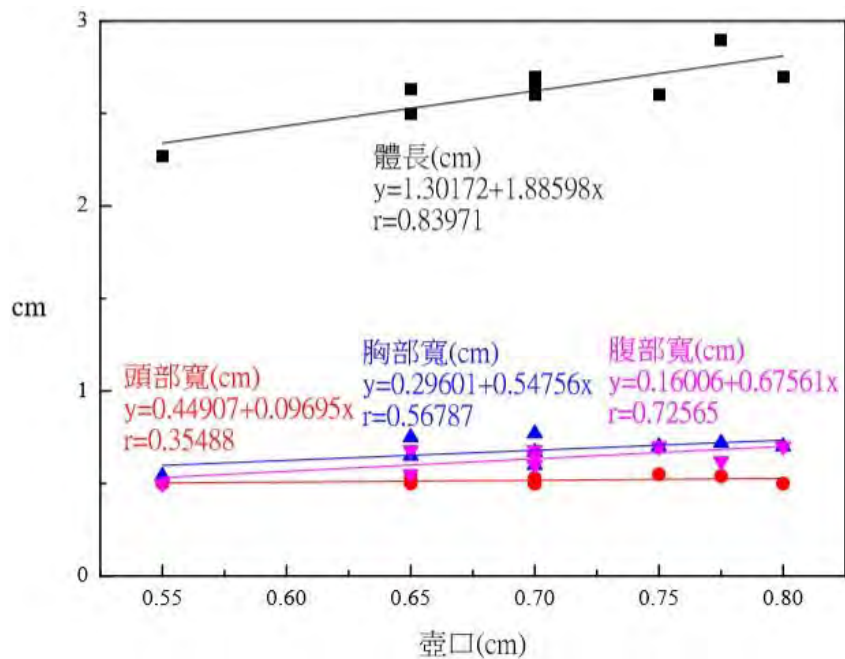


圖 18 說明：(1) 體長與巢室壺口的  $r$  值分別為 0.84，兩者之間屬於高度相關，可推測，當體長越大，壺口會越大。  
 (2) 頭部、胸部、腹部與巢室的壺口間的  $r$  值分別為 0.35、0.57、0.73，分別屬於低相關性、中度相關性與高度相關性。所以可以推測壺口的大小，與腹部能不能進入產卵有關。

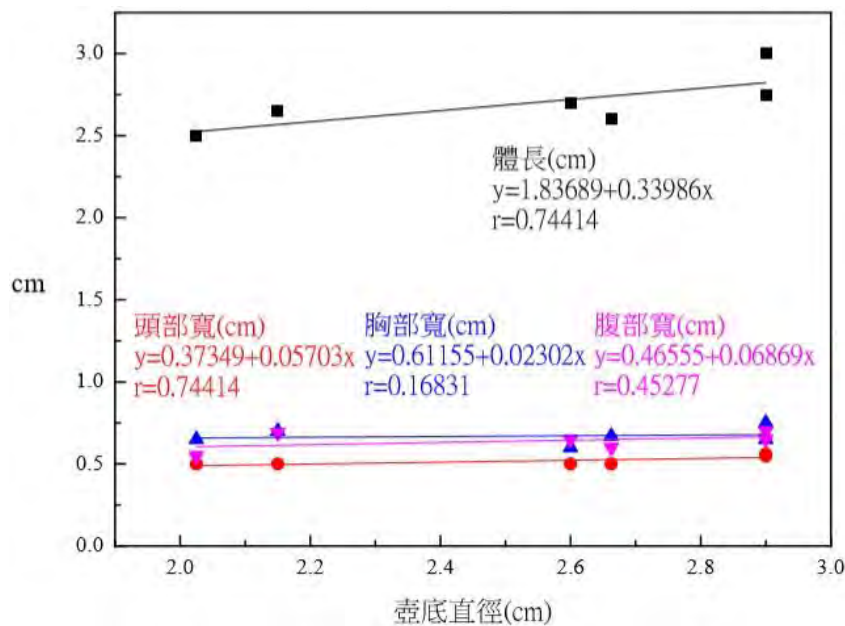


圖 19 說明：(1) 體長與巢底直徑的  $r$  值分別為 0.74，兩者之間屬於高度相關，可推測，當體長越大，建造的巢底直徑會越大。  
 (2) 頭部、胸部、腹部與巢室的巢底直徑間的  $r$  值分別為 0.74、0.17、0.45，分別屬於高相關性、低度相關性與中度相關性。所以可以推測巢底直徑的大小，與頭部口器上塗抹唾液標記記號有關。



## 實驗後的存疑？

從研究三的結果，符合了巢底、壺口的大小與壺蜂體長有關的假設，但實驗過程中我們對壺蜂『產卵的時機點與把卵產在哪裡』存有疑問？我們分別閱讀了五篇相關資料解惑。

第一篇指出，發現 2 個泥巢，並各有一個卵在其中（文獻十二）。第二篇指出，完成巢穴後雌蟲會捕捉鱗翅目的幼蟲入巢並產卵（文獻十三）。第三篇指出，泥巢完成後馬上把卵產在巢的天花板上，再飛出去捕捉小蟲（文獻十五）。第四篇指出，黃胸泥壺蜂築完巢後會去抓小蟲子放在窩巢裡，然後產卵生下小寶寶（文獻十八）。第五篇指出，製作好泥壺蜂巢，開始在樹叢裡搜尋獵物，用螫針麻醉獵物帶回塞入泥壺蜂巢然後在獵物上產一顆卵（文獻十九）。根據我們的觀察記錄與參考資料，至少有『三種不同的產卵方式與順序』，這讓我們存疑（如表 24）？因此我們想再進行實驗驗證，找尋正確答案。

表 24：我們曾經觀察壺蜂『產卵或抓蟲的行為』與『前人一樣有多種結果』疑問圖照

				
1.觀察一： 壺蜂是先在巢室內產卵嗎？	2.觀察二： 壺蜂是先抓獵物進巢室嗎？	3.觀察三：巢室內有卵了，還會有獵物嗎？	4.觀察四：打開巢室，看到卵真是產在獵物身上嗎？	5.觀察五：很難分辨獵物與幼蟲誰先在巢室內？

## 再次提出實驗新假設：











我們提出黃胸泥壺蜂『完成巢室後先產卵、再捉獵物，而且卵是產在巢式的上方』假設。

## 再次實驗動手解決疑問：

步驟 1.觀察『產卵與抓蟲的順序』：觀察 4 隻壺蜂樣本建造壺口後，記錄先產卵或抓蟲的行為。

步驟 2.測量『卵在泥巢內位置』：測量 4 隻壺蜂產卵樣本，求出產卵的範圍。另外再利用美工刀沿著巢壁慢慢切割取下另外 9 個有卵或卵殼巢室，求出卵離壺口距離與垂降範圍。

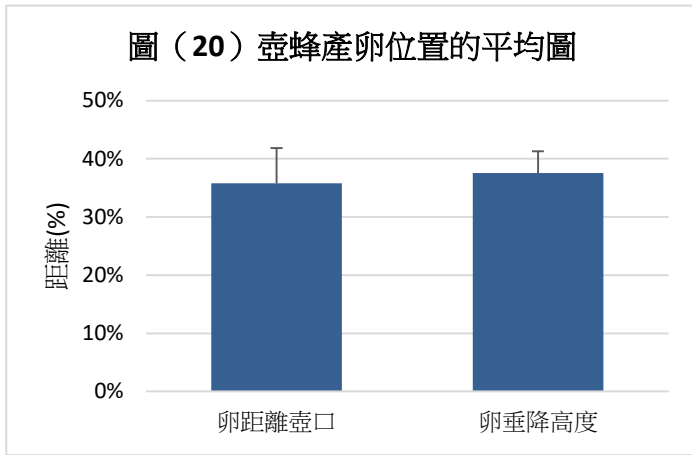
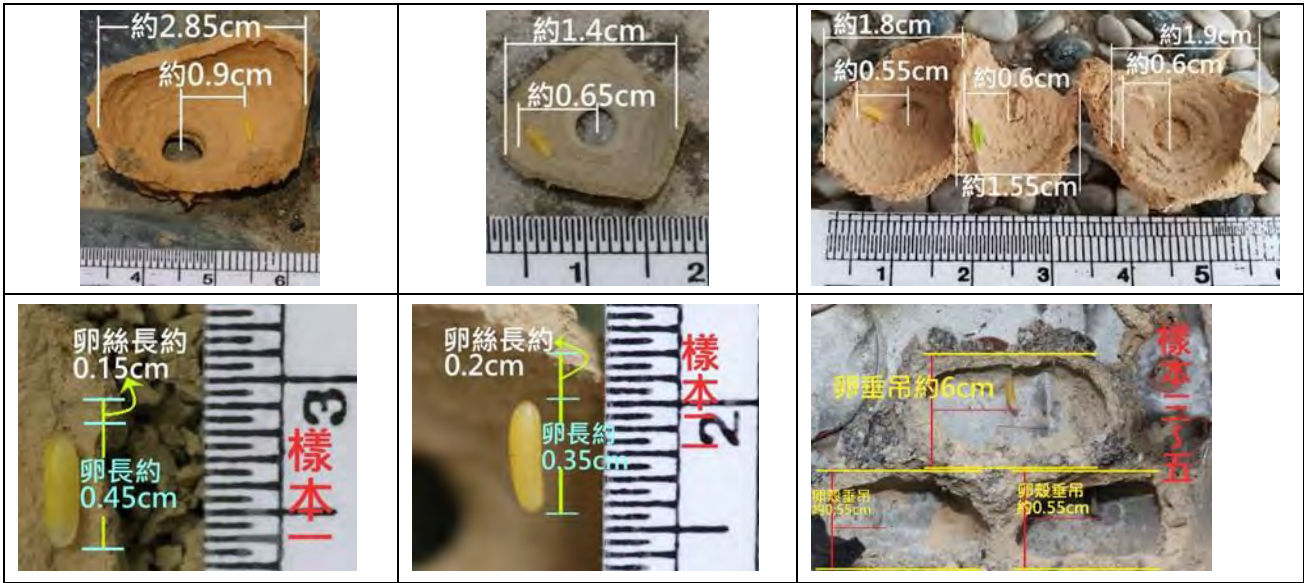
表 25：觀察壺蜂『塑形壺口後立刻產卵（N=4）與產卵位置（N=13）』實驗操作圖照

					
1.塑形壺口後	2.立刻先產卵	3.塑形壺口後	4.立刻先產卵	5.塑形壺口後	6.立刻先產卵
					
7.求出產卵在巢室範圍	8.先求卵離壺口距離	9.再求卵的大小	10.最後求卵垂降的高度		



再次實驗獲得的結果：

表 26：壺蜂卵『距離壺口與卵垂吊』在巢室結果圖照 (N=13)



圖(20)說明：產卵管可以彎曲約 45°，把卵產在離壺口約 36%的巢室頂端泥壁上。

圖(21)說明：卵從上而下垂降平均巢室高的 38%。(N=13)

研究四、研究天敵對建造巢室的影響結果

表 27：『天敵從巢室外寄生，導致提前封口或巢內的獵物、壺蜂幼蟲都被吃光』結果圖照(N=25)

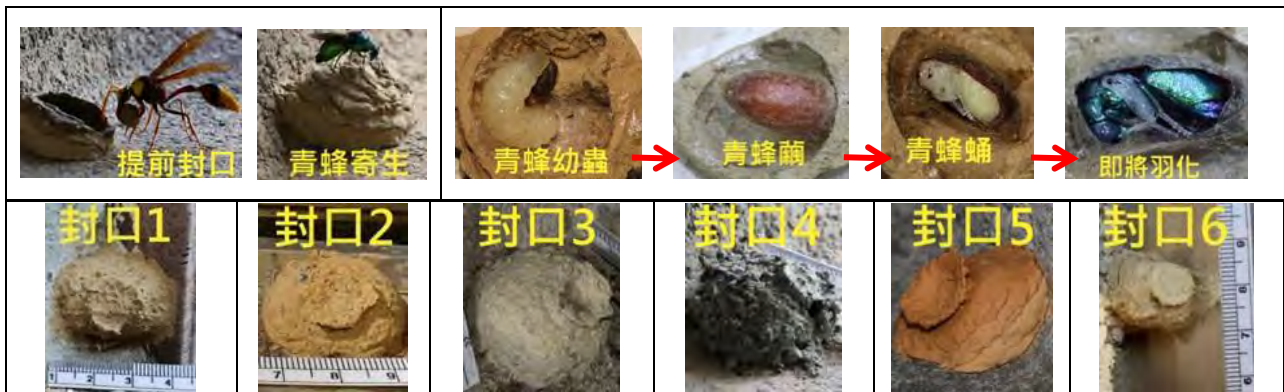


表 28：『天敵尾隨等待寄生過程，造成 36 個樣本壺蜂棄巢、47 個獵物被吃光』結果圖照



圖 (22) 壺蜂巢室被寄生數



圖 (22) 說明：採集壺蜂 122 個巢室中，被寄生有 108 個，成功生長只有 14 個。

圖 (23) 壺蜂巢室被寄生比例



圖 (23) 說明：122 個泥室中，失敗的占 88.5%，成功的只有 11.5%。



## 實驗後的存疑？

從研究四的結果不僅確定了天敵以守株待兔寄生的假設，更發現天敵會尾隨跟蹤壺蜂到巢室，這讓我們不得不懷疑壺蜂與天敵間的互動行為，好像不只是單純的『本能行為而已？』。我們自然課本第五章講到動物有本能行為與學習行為（文獻一）。另一份前人報告也指出壺蜂受到干擾，會把獵捕來的捲葉蛾咬出丟棄到竹管外（文獻十）。以及 2019 年 5 月 9 日自由時報最新報導，美國密西根大學生物學家研究顯示，一種紙黃蜂牠們雖僅具有相對簡單的微型神經系統，卻可迅速掌握傳遞推斷的能力，並作出與脊椎動物相似的選擇（文獻二十）。因此我們存疑？黃胸泥壺蜂發現巢室被寄生之後，會有『類似思考或推理的能力』？

### 再次提出實驗新假設：

我們提出巢室如果被意外撞破，黃胸泥壺蜂會出現『思考性修補巢室的行為』假設。

### 再次實驗動手解決疑問：

#### 步驟 1. 實驗組---當巢室內無幼蟲『巢室被異物撞破大洞』：

以二個樣本為例，當壺蜂產完卵，尚未抓獵物到巢室內時，這時巢室被異物撞破，露出比壺口還要大的洞時，觀察壺蜂得知巢室破洞後的行為反應。

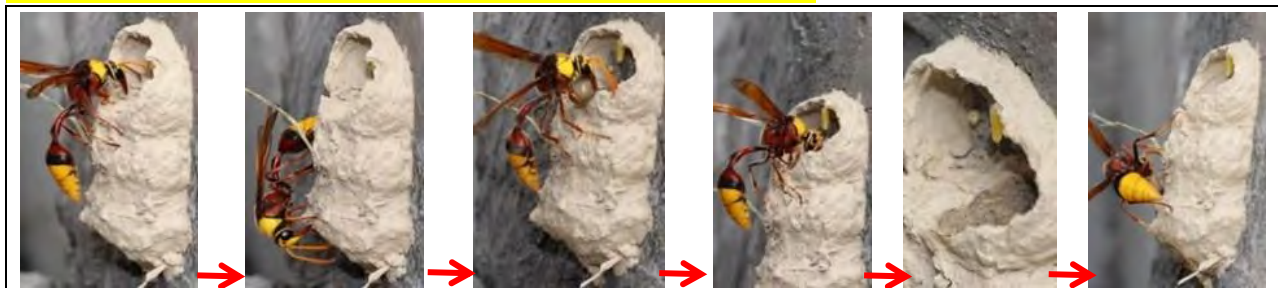
#### 步驟 2. 對照組---當巢室內有幼蟲『巢室被異物撞破小洞』：

當巢室被異物撞出小洞，露出比壺口小的洞，重複兩次挖出小洞，觀察壺蜂得知巢室破洞後的行為反應。

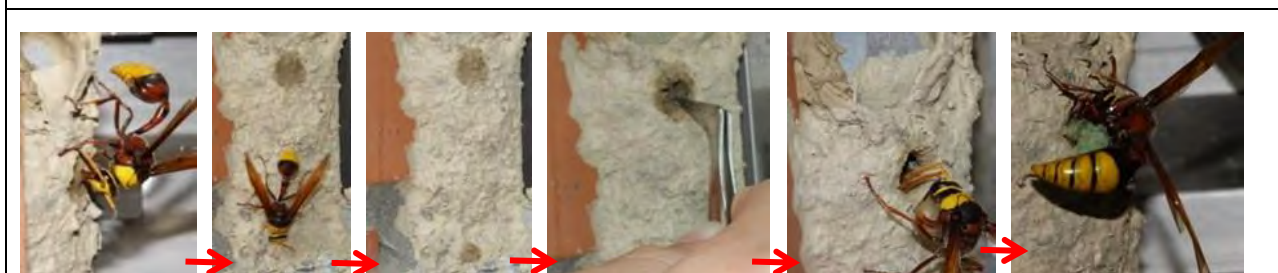
表 29：當『巢室被異物撞出破洞』動手實驗操作圖照（N=3）



### 研究四、表 30：再次實驗獲得的破裂的大小洞修補結果：



1.發現巢室大破洞 2.上下來回檢查 3.去銜泥球回來 4.修補破洞 5.底層用泥修補 6.再修補側面



1.修補小破洞 2.修補下方巢室 3.修補痕跡 4.修補後再挖開 5.回來又發現破洞 6.咬出獵物丟棄



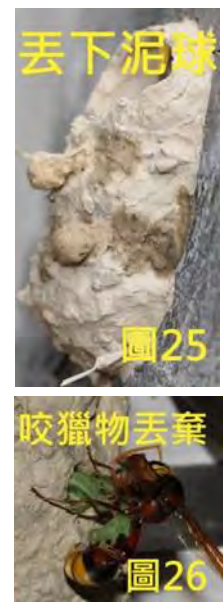
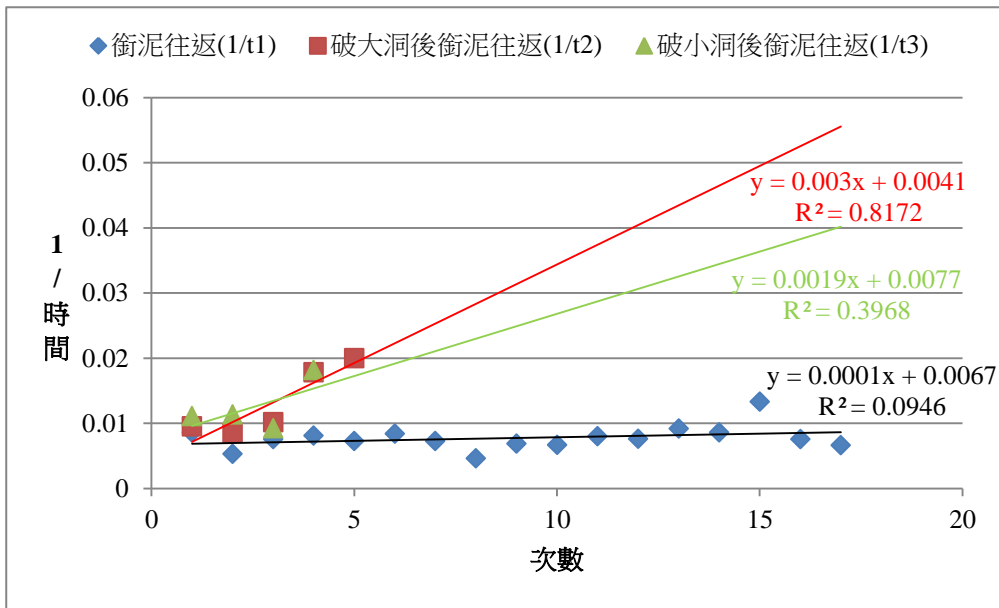


圖 24 說明：


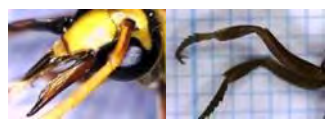

- (1) 假設往返距離差不多的情況下，以測定的時間倒數表示運動速率。
- (2) 由圖可知，當巢室破大或破小洞之後，斜率  $0.003$ 、 $0.0019 > 0.0001$  獲得證明，壺蜂返回的速率變化大於平常往返的速率變化。
- (3) 由圖 25、26 可知，壺蜂最後把銜來的泥球胡亂堆積，或者趕回來把獵物丟棄，都證明，壺蜂返回的時間速率大於平常往返的時間速率，推測壺蜂知道巢室受到不可預期的破壞，銜泥球飛快回來修補泥巢。

## 陸、問題與討論

### 一、關於壺蜂建造巢室的策略中，『相似種與校園常見西洋蜂能否建巢室』的討論

研究一壺蜂會銜土做巢室，其實會做巢室的壺蜂有好幾種，我們把黃胸泥壺蜂與虎斑泥壺蜂的巢室、泥球與大顎、前腳間做比較，再與常來我們校園內採蜜的西洋蜂比較，找出彼此間的差異，以及初步探討西洋蜂為何不會做巢室的簡單原因。(如表 31)

表 31：『黃胸泥壺蜂與虎斑泥壺蜂巢室間、西洋蜂形態間』比較討論結果

	黃胸泥壺蜂	虎斑泥壺蜂	西洋蜂 (工蜂)
巢室型態： 相似，但大小 有差別	 所做泥球與巢室都較大	 泥球與巢室較窄、較小	1. 不會做泥球。 2. 也不會銜土去做泥巢。
大顎：有齒凹 能夾泥球。 前腳：腿節微 彎，能抱泥球	 大顎與前腳特徵	 短小較不能環抱泥球	 大顎小、前腳佈滿細毛 無法夾帶、無法抱泥球

**二、關於壺蜂建造巢室的策略中，為何『不直接在濕泥地上做泥球呢？』的問題討論**

研究一證實壺蜂先吸水再去乾土做泥球蓋巢室。我們想為什麼壺蜂不直接在濕地上做，不是方便、快速、省時嗎？於是我們做了小實驗探討。在壺蜂挖土的周邊直接加水，把乾土變成濕泥地，看看壺蜂會不會省去吸水行為與時間？經過三次實驗，初步獲得壺蜂不會在濕泥地做泥球，反而原泥地被加了水而破壞環境，壺蜂最後拋棄原泥地，不再回來。(如表 32)




**表 32：把做泥球地『加水淋濕了』，觀察壺蜂是否『就近、就地做泥球』行為討論結果**

				
1.第一次在做泥球地右邊澆水變濕泥地	2.壺蜂還是在原地做泥球	3.第二次在前方澆水，變濕泥地	4.壺蜂同樣出現在原地做泥球	5.直接在原地澆水，壺蜂飛離開

**三、關於壺蜂建造巢室的策略中，為什麼壺蜂『不把巢室蓋在戶外呢？』的問題討論**

研究一調查巢室位置，得知巢室都被建在室內，我們心裡有疑問？壺蜂會把巢室蓋在戶外嗎？是怕被雨水沖刷掉嗎？對於這樣的想法，我們做個小實驗來探討，108年3月12日~3月14日連續三天下著大雨，我們把採集來的巢室與一般泥塊分2組，先放在護貝好的方格紙再放在戶外草皮上，記錄被雨水淋過後巢室的變化。結果發現巢室不如想像中脆弱，一遇到水就被打散。所以我們推測，壺蜂有可能把巢室蓋在戶外，只是我們沒有發現而已(表 34)

**表 34：壺蜂的巢室『遇到雨水澆淋與在空心磚內受到保護』外觀變化觀察討論結果**

				
1.雨水中淋雨泥塊左邊普通泥塊，右邊是壺蜂巢室。	2.左邊普通泥塊有明顯剝落痕跡。	3.右邊影響不大，外觀沒有太大的變化。	4.在空心磚內的巢室，即使下雨也不受影響。	5.近一年時間，經過多次雨水侵蝕，巢室並沒有崩塌。

**四、關於壺蜂建造巢室的策略中，『泥球能夠成形原因？』的問題討論**

研究二探討泥球成形原因時，讓我們想到小時候跟同學在沙地玩泥巴的遊戲，調皮的我常常起鬨想都沒想過，隨手抓起泥巴往對方丟過去，不知不覺一顆泥球就飛出去了，現在知道那是不對的行為，但那是小時候快樂的回憶。我們重複小時候玩泥巴過程，放慢動作，這才發現，原來當時沒有想這麼多的行為，竟是經過聚集沙、手壓捏、快速成形球塊。(表 33)

**表 33：重現小時候『泥球成形』動手實驗討論結果圖**





				
1.各準備 2 份 250g 砂土	2.一組只攪拌	3.另一組攪拌加擠壓	不易成形(左)	容易成形(右)



**五、關於壺蜂建造巢室的策略中，需要消耗『多少砂土？』的問題討論**

研究二建造泥球，我們很想知道做巢室需要花掉多少砂土？從實驗得知，做一個巢室平均要 23 粒泥球，而一顆泥球體積約  $0.09 \text{ cm}^3$ ，換算成做一個巢室約要花  $2.07 \text{ cm}^3$  的砂土。我們去測量三處壺蜂挖掘過的泥地，計算後為  $2.19 \text{ cm}^3 \sim 10.24 \text{ cm}^3$ ，換算下來約消耗掉 24 顆~114 顆的泥球。這數據看起來，跟做一個巢室所需要砂土有所不同，但是經過我們長期觀察，壺蜂做巢室並不會因封口了就結束搬運泥球的動作，牠還會繼續挖砂做後續的修補、或者在旁邊繼續做第二~五個巢室，如果是這情形，泥地上被挖掘的體積數據就有可能了。(如表 35)





**表 35：『泥球與泥地、巢室』觀察的討論結果**

 體積約0.09立方公分	 約消耗2.19立方公分	 約消耗3.13立方公分	 約消耗10.24立方公分
1.泥球平均的體積	2.約消耗 24 顆泥球	3.約消耗 35 顆泥球	4.約消耗 114 顆泥球
 1個巢室	 2個巢室	 4個巢室	 5個巢室
5.要 23 粒泥球以上	6.要 46 粒泥球以上	7.要 92 粒泥球以上	8.要 115 粒泥球以上

**六、關於壺蜂建造巢室的策略中，『測量壺蜂成蟲重量的方法與放生』的問題討論**

研究三進行壺蜂建造巢室大小依據的實驗，必須要採集成蟲測量體長與體重，由於壺蜂活動力很強，要牠安靜停下被測量並不容易。上網查了科展資料，有許多篇報告會使用了  $\text{CO}_2$  去迷昏各類生物。我們一開始也是使用  $\text{CO}_2$  去迷昏壺蜂，效果真的很好，約 15~20 秒就把壺蜂迷昏、也順利測量到體重，但是要測量體長時，因為壺蜂昏迷數分鐘之久，身體出現彎曲、站不大起來甚至昏迷不起或死亡，導致體長測量並不順利。後來在自然課本第四章講到昆蟲是一種完全變態的動物，溫度降低後活動力就會變弱，因此我們改用冰塊降溫，效果不錯，順利量到體長與體重，並在獲得數據後，拿到鳳凰木下原採集地給予放生。(如表 36)

**表 36：測量壺蜂『體長、體重、放生』實驗討論結果**

				
1.壺蜂活動力強 無法測量	2.拍攝用 $\text{CO}_2$ 迷昏壺蜂過程	3.不到 20 秒時間 ，壺蜂昏迷	4.將近 10 分鐘， 無法爬起來	5.身體彎曲缺氧容 易造成壺蜂死亡
				
6.改用降溫法	7.測體重後不到 2 分鐘就站起來	8.再順利測得體長	9.測完後原地放生	

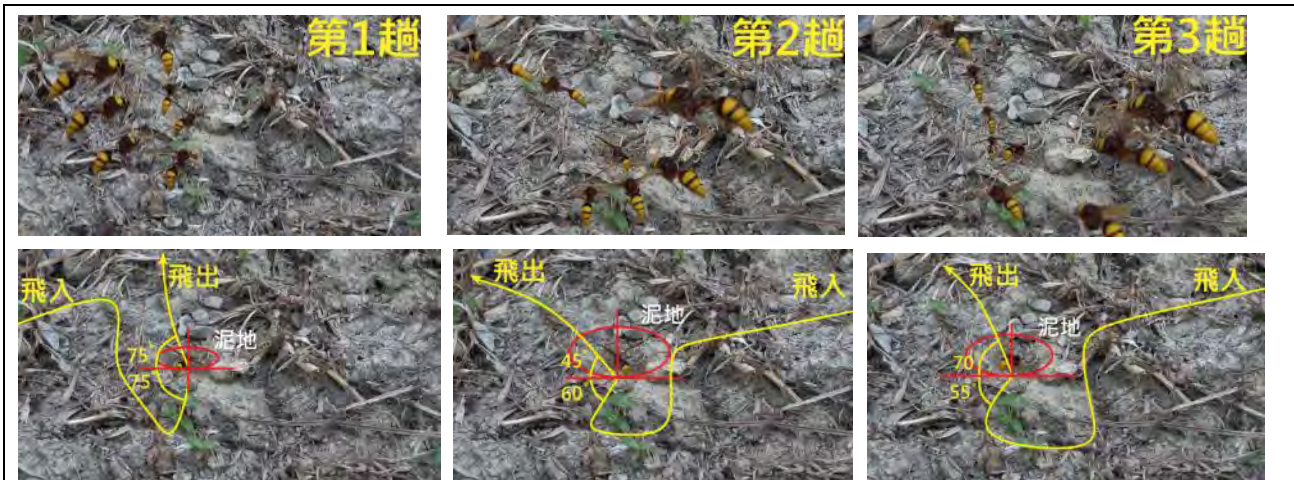
### 七、關於壺蜂建造巢室的策略中，天敵出現『壺蜂防禦對巢室影響』的問題討論

研究四壺蜂與天敵間的互動，覺得好像是諜對諜互相抵制的行為，真有趣啊。不過根據上述實驗，壺蜂行為像是處在於『被動性事後防禦或抵制的行為』，我們還好奇，有沒有可能，壺蜂早就知道天敵的存在，而『主動性做出預防天敵的行為』呢？

於是我們再去檢視研究一壺蜂建造泥球過程的蛛絲馬跡，看看能否找出壺蜂預防行為。經過多次重複觀看影片的結果，果然發現了壺蜂有 2 個相反的行為，第一、壺蜂飛抵達泥地時，會在空中短暫停滯或迂迴，最後才停到泥地上。第二、泥球一旦建造好，卻毫不考慮快速飛去築巢，這行為與研究四泥巢破裂後快速飛回修補的行為，有類似相同之處。

我們利用 PhotoCap 剪輯影片，拼貼出牠抵達與飛走的迂迴路徑與角度，至於這行為是不是屬於在甩掉天敵跟蹤的預防性行為，未來我們希望有更多實驗去求證（如表 37）。

表 37：壺蜂在飛往製作泥球『抵達目的後的迂迴路徑』結果圖照



我們發現壺蜂會從左右兩側飛入，在空中短暫停滯，再迂迴飛入泥地，完成後，立刻又從左上方飛去。經量角器測量，歸納出約  $55^{\circ} \sim 75^{\circ}$  迂迴飛入，再以約  $45^{\circ} \sim 75^{\circ}$  快速飛走。

### 八、關於壺蜂建造巢室，我們邀『大家一起愛護壺蜂，不要再無知把巢室掃破了』問題討論

壺蜂辛辛苦苦建造巢室，在自然界裡最正常不過的傳宗接代行為了。壺蜂的外觀看起來好像很兇，其實很膽小、警覺性很高、也不會叮人，而且只要有人或天敵靠近牠通常會把泥球丟棄飛走。經過長期觀察與多次實驗，如今了解了牠建造巢室的生態與目的後，我們要大聲地呼籲一起愛護壺蜂，日後在窗戶或鋁門邊看到壺蜂的巢室，不要再誤以為那是假日小孩玩耍丟棄的小土塊，更不可以用掃把掃破，讓壺蜂的後代能繼續存活於校園內（如表 38）。

表 38：位在『窗邊或鋁門角落曾被無知的我們掃破』結果圖照記錄





## 柒、結論

### 研究一、黃胸泥壺蜂銜泥建造巢室的過程實驗結論：

- (1) 壺蜂築一個巢室，銜泥球往返平均花  $140\text{sec}\pm 3\text{sec}$ 、產卵平均  $82\text{sec}\pm 5\text{sec}$ 、抓一隻獵物平均  $3437\pm 354\text{sec}$ 、封口平均  $127\text{sec}\pm 28\text{sec}$ 。共需花費 6 小時 13 分鐘 32 秒可完成。
- (2) **再次實驗獲得的結果：**做一顆泥球平均  $66\pm 16\text{sec}$ 、吸一次水平平均  $18\pm 6\text{sec}$ 、塗抹一顆泥球花  $70\pm 14\text{sec}$ 。築巢過程：先吸水→做泥球→做巢室→產卵→抓獵物→封口。

### 研究二、研究黃胸泥壺蜂如何把砂土做成泥球與運送實驗結果

- (1) **製作過程與為何做成泥球狀：**水與砂土的攪拌→身體下壓泥塊初形成→類泥球成形。因球體表面積  $0.97\text{cm}^2 <$  圓柱體  $1.42\text{cm}^2 <$  正立方體  $1.82\text{cm}^2$ 。依照自然法則，球狀的表面積較小、自由能最小化，相對較為穩定，因此壺蜂會做類圓泥球。
- (2) **泥球要做多大：**從壺蜂體長為  $2.67\pm 0.14\text{cm}$ ，胸部寬為  $0.70\pm 0.07\text{cm}$ 、胸部面積為  $0.40\pm 0.06\text{cm}^2$ ，所做出的泥球面積為  $0.20\pm 0.02\text{cm}^2$  與直徑為  $0.55\pm 0.04\text{cm}$  來判斷。體長、胸部與泥球間的 r 值分別為 0.84、0.71 都屬於高度相關，可推測胸部越大，泥球也越大。壺蜂體重與乾濕泥球重量 r 值平均約 0.53，屬於中度相關，推測兩者間重量有部份相關。
- (3) **再次實驗獲得的搬運方式結果：**  
不管在地面或飛行搬運泥球：當抱起泥球 4/5 處，用大顎、左右腳三者向上施力，對乾濕泥球施力為 0.043gw、0.050gw，僅為泥球重的 1/3，是較為穩定省力的搬運方式。

### 研究三、研究黃胸泥壺蜂建造巢室大小的依據實驗結果

- (1) 求出壺蜂平均體長  $2.67\pm 0.14\text{cm}$ 、頭部寬  $0.53\pm 0.02\text{cm}$ 、胸部寬  $0.70\pm 0.07\text{cm}$ 、腹部寬  $0.64\pm 0.05\text{cm}$ ，做出來的巢底直徑  $2.54\pm 0.34\text{cm}$ 、壺口直徑  $0.66\pm 0.09\text{cm}$ 。
- (2) **巢底要做多大：**當體長與巢底直徑的 r 值為 0.74，兩者之間屬於高度相關，可推測當體長越大的壺蜂，建造的巢底直徑會越大。
- (3) **壺口要做多大：**當體長、腹部與巢室壺口的 r 值分為 0.84、0.73，都屬於高度相關，推測體長與腹部越大，壺口做越大，這與腹部能不能伸入巢內產卵與把獵物放入有關係。
- (4) **再次實驗獲得的結果：**壺蜂會先產卵，再捉獵物。產卵管可以彎曲約  $45^\circ$ ，把卵產在離壺口約 36%的巢室頂端泥壁上。而卵由絲線固定，向下垂降約位於巢室高度的 38%處。

### 研究四、研究天敵對建造巢室的影響實驗結果：

- (1) **天敵對建造中巢室的影響：**天敵多以尾隨壺蜂方式進行寄生，造成 36 個泥巢被棄巢、25 個泥巢提前被封口，導致建造巢室失敗。
- (2) **天敵對完成巢室後壺蜂的影響：**47 個巢室內包含壺蜂與獵物通通被天敵吃掉。122 個巢室只有 14 個成功化蛹，寄生率高達 88.5%，順利成長只有 11.5%。
- (3) **再次實驗獲得的結果：**當巢室破大或破小洞之後，斜率為 0.003、0.0019  $>$  0.0001 依獲得的數據證明，返回的速率變化  $>$  平常往返速率。綜合以上結果，我們得知壺蜂是有系統的在銜土建造巢室，面對巢室被寄生或侵犯，會思考性的做出偵測、加速往返與增加檢查次數、修補巢室等動作挽救，一旦發現無法彌補會出現提前封口或者棄巢行為。

表 39：研究總結，綜合前人研究報告與我們實驗的結論比較

建造巢室比較的項目	前人的研究的觀察或結果	我們推翻前人觀察實驗與新發現
一、做一個巢室平均需要多少時間完成	<p>前人有不同的觀察結果，例如：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 壺蜂每天 0.5~1 個酒壺型巢穴的速度，在 1 至 2 天的時間內，完成築巢的工作（文獻八）。</li> <li>2. 壺蜂築巢只要半天就可以築好（文獻九）。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 推翻：大範圍的築巢時間觀察。</li> <li>2. 新發現：做巢室過程有吸水、用泥球做巢室、產卵、抓獵物、封口。</li> <li>3. 新發現：計算出銜泥球往返、產卵、抓一隻獵物、封口平均等時間，統計出建造一個巢室平均需花費時間。</li> </ol>
二、取材順序以及為何能把泥做成類圓形球狀	<p>前人有 2 種不同的觀察結果，如：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 泥壺蜂往往飛去潮濕泥地取回材料（文獻二、五）。</li> <li>2. 泥壺蜂會先吸足水（文獻三、四、六）。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 推翻：先飛去潮濕泥地取回材料觀察。</li> <li>2. 新發現：統計出吸水時間與取材順序必須先吸水→飛到乾砂土吐水攪拌。</li> <li>3. 新發現：因球狀的表面積較小、自由能最小化，相對較為穩定，因此壺蜂把『泥』做成了『類圓形球狀』。</li> </ol>
三、砂土被做成類圓形泥球的方式與大小	<p>前人有 2 種類似的觀察結果，如：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 以口攪拌成泥球（文獻十三）</li> <li>2. 以口水潤濕乾土，混合成泥球（文獻十五）</li> <li>3. 前往泥地攪和出一顆泥球（文獻十四、十六、十七）</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 推翻：語意含糊以口攪拌成泥球觀察。</li> <li>2. 新發現：口器吐水在泥上→大顎夾鬆泥土再開挖土→前肢擋土→胸部腹面向下壓土→最後形成類圓球狀。</li> <li>3. 新發現：泥球做大或做小與體長、胸部間有高度相關性。</li> </ol>
四、搬運泥球的方式	<p>前人有 2 種不同的觀察結果，如：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 泥壺蜂會以大顎和前足將泥團夾住，從外地帶回（文獻七）。</li> <li>2. 飛到遮陽避雨築巢（文獻十四）。</li> <li>3. 銜著泥球飛到牆壁、石壁遮雨處做成壺狀泥巢（文獻十七）。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 新發現：求出不管在地面或飛行搬運泥球，當抱起泥球的 4/5 處支撐接觸面大，是較為穩定抱泥球方式。</li> <li>2. 新發現：並大顎、左右腳三者向上施力方式，是較為省力的搬運方式。</li> </ol>
五、如何丈量巢底與壺口的大小	<p>前人有 2 個類似的觀察結果，如：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 泥壺蜂建造出泥壺的雛型，留下一個小洞口作為產卵與塞入獵物的出入口（文獻二、六）。</li> <li>2. 泥壺蜂巢穴都有「壺口」與「壺頸」（文獻八）。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 新發現：以體長為基準，用唾液標示記號巢底範圍。證實巢底的大小與體長間有高度相關性。</li> <li>2. 新發現：壺口大小決定腹部能不能伸入產卵以及咬住獵物放入裡面的重要出入口。證實壺口與體長、腹部間有高度相關性。</li> </ol>
六、產卵與抓蟲間的順序、卵被產在何處	<p>前人有 5 種不同的觀察結果，如：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 發現 2 個泥巢，並各有一個卵在其中（文獻十二）。</li> <li>2. 捕捉鱗翅目的幼蟲→入巢產卵（文獻十三）</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 推翻：在獵物身上產卵或者先抓蟲再產卵的觀察。</li> <li>2. 新發現：築好壺口→腹部深入產卵管彎曲 45°，把卵產在離壺口約 36%巢室頂端泥壁上→再飛去抓獵物。</li> </ol>



	<p>3.卵產在巢的天花板上→再捕捉小蟲（文獻十五）。</p> <p>4.築完巢會去抓小蟲子→然後產卵生小寶寶（文獻十八）。</p> <p>5.麻醉獵物帶回塞入蜂巢→然後在獵物上產一顆卵（文獻十九）。</p>	<p><b>3.新發現：</b>卵由絲線固定，從巢室頂端泥壁向下垂降於巢室高的 38%。就是因為卵垂降下來，會觸碰到被抓入巢室內的獵物關係，所以常常讓觀察的人誤以為卵被產在獵物上的原因。</p>
<p>七、天敵寄生對壺蜂建造巢室的影响</p>	<p><b>前人有 3 種類似的觀察結果，如：</b></p> <p>1.推測泥壺蜂幼蟲在未離開巢前就已經死亡（文獻八）。</p> <p>2.泥蜂巢裡找到蜘蛛（文獻九）。</p> <p>3.赭腰圓領螺贏泥壺內成功率偏低，推測蜘蛛、寄生蠅和寄生蜂等入侵數量有關（文獻十二）。</p> <p>4.壺蜂受到干擾，會把獵捕來的捲葉蛾咬出丟棄（文獻十）。</p>	<p><b>1.新發現：</b>天敵會尾隨壺蜂到巢室，而且在巢室附近等待機會，當壺蜂一飛走立刻向前往巢室寄生。</p> <p><b>2.新發現：</b>面對巢室『被寄生』，壺蜂會出現①放棄築巢②提前封口③飛回檢查④巢室內壺蜂成長失敗等影響。</p> <p><b>3.新發現：</b>面對巢室『被破壞』，壺蜂會出現①先修補巢室②加速往返且胡亂丟泥球或把獵物咬出丟棄③最後棄巢等思考性的行為。</p>

## 捌、參考資料及其他

- 一、康軒教科書編輯團隊·自然與生活科技課本一上科學方法(4-7 頁)、顯微鏡的使用(30-34 頁)、動物的行為(117-121 頁)、一下節肢動物(112-115 頁)·康軒出版社。
- 二、楊維晟(2010)·野蜂放大鏡(84 頁)陶藝高手·台北市：遠見。
- 三、黃仕傑(2012)·昆蟲臉書(211 頁)充滿母愛的陶藝大師—華麗泥壺蜂·台北市：遠見。
- 四、林義祥(2015)·嘎嘎老師的昆蟲觀察記(174-175 頁)虎斑泥壺蜂築巢·台中市：晨星。
- 五、李鍾旻(2015)·都市昆蟲(114 頁)泥壺裡的秘密·台北市：遠見。
- 六、李曼韻(2016)·生物課好好玩(126-127 頁)手藝精湛陶藝大師泥壺蜂·台北市：小麥田。
- 七、陳文德(2014)·科學研習月刊 53-1 期 生物教室-文學與蜂 國立台灣科學教育館。
- 八、戴東翰(2013)·土樓神秘客—泥壺蜂生態研究(17 頁)·嘉義市第三十一屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 九、蔡世博(2014)·陶藝大師：黃胸泥壺蜂、日本藍泥蜂初探(10 頁)·金門地區第五十五屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 十、羅兆珩(2014)·竹巢高手～探討影響棕泥壺蜂影響築巢因子·中華民國第五十四屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 十一、陳抒函(2018)·麻醉大師～壺蜂麻醉獵物的策略與幼蟲捕時間關係·中華民國第五十七屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 十二、黃芃迎(2018)·泥壺內的秘辛～赭腰圓領螺贏和黃胸錐腹螺贏生存策略探討·中華民國第五十七屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 十三、余哲榮老師的教學網站—黃胸泥壺蜂·取自  
[https://sites.google.com/a/cyhs.tc.edu.tw/arthur\\_cyhs/zhang-yi-sheng-wu-duo-yang-xing/zhang-yi-kun-chong-jian-wen/huang-xiong-ni-hu-feng](https://sites.google.com/a/cyhs.tc.edu.tw/arthur_cyhs/zhang-yi-sheng-wu-duo-yang-xing/zhang-yi-kun-chong-jian-wen/huang-xiong-ni-hu-feng)

十四、悠遊自然學習自然 - 優學網・取自

<http://tw.class.uschoolnet.com/class/index.php?csid=css000000007123&id=model13&cl=1139449153-5197-3675&mode=content env& ulinktreeid=&topic=11425906501017164>

十五、孟琬瑜，大自然的泥水匠 - 黃胸泥壺蜂・取自 <https://e-info.org.tw/node/60076>

十六、這是小明的部落格・取自

<https://blog.xuite.net/m49.k5083/twblog/430625362-%E9%BB%83%E8%83%B8%E6%B3%A5%E5%A3%BA%E8%9C%82%E7%AF%89%E5%B7%A2>

十七、黃胸泥壺蜂・取自 <http://icontent.nkps.tp.edu.tw/insectinfo/SpeciesShow.aspx?specID=416>

十八、陳清枝（2008年9月10日）・黃胸泥壺蜂築巢全都錄・公民新聞・取自

<https://www.peopo.org/news/20949>

十九、黃胸泥壺蜂攪和泥球@陽明山國家公園天溪園生態教育中心的珍珠寶貝 ...・取自

<https://blog.xuite.net/ymsbigdavid/love01/28230817-%E9%BB%83%E8%83%B8%E6%B3%A5%E5%A3%BA%E8%9C%82%E6%94%AA%E5%92%8C%E6%B3%A5%E7%90%83>

二十、善用邏輯解數學算式 研究發現黃蜂「思考」具有人類特徵（2019年5月9日）・自由時報・取自

[https://news.ltn.com.tw/news/world/breakingnews/2784703?utm\\_medium=M&utm\\_campaign=SHARE&utm\\_source=LINE](https://news.ltn.com.tw/news/world/breakingnews/2784703?utm_medium=M&utm_campaign=SHARE&utm_source=LINE)

## 玖、待研究的問題

一、未來想繼續研究『壺蜂幼蟲的捕食與獵物間關係—多隻壺蜂幼蟲在巢室內競爭食物問題？』

**想研究的動機：**我們在此次研究的過程中，發現了一個疑問？就是打開壺蜂的巢室後，發現並不是所有的巢室內只有 1 顆卵，有的 2 顆、甚至 3 顆。我們推測不是一次同時所產下，因為先產下的卵，早已經先孵化為幼蟲了，其他還在卵階段。我們很納悶，這麼多顆卵同時在一個巢室內，如果都孵化，那麼壺蜂幼蟲不是會互相殘食嗎？這是明年想研究的第一個目的。

表 40：採集巢室過程發現裡面有不同卵的數目

			
1. 巢室有一顆卵	2. 巢室有 2 顆卵	3. 有 2 顆卵	4. 有 3 顆卵，其中一顆已經孵化為幼蟲

二、未來想繼續研究壺蜂『壺蜂幼蟲的捕食與獵物間關係--壺蜂捕抓獵物數量多寡的問題？』

**想研究的動機：**我們還發現另一個讓我們疑惑的行為？是壺蜂抓入巢室內的獵物數量差異很大，有的巢內只有 3 隻獵物、有的多達 11 隻獵物。我們納悶，壺蜂媽媽所抓來的獵物，都是幼蟲能吃完的數量嗎？有其他特別因素的考量嗎？這是明年想研究的第二個目的。

表 41：我們發現不是每個每隻壺蜂媽媽抓來的獵物都相同的觀察結果

				
1. 用毒針整昏獵物	2. 有 11 隻獵物	3. 有 3 隻獵物	4. 有 7 隻獵物	5. 有 8 隻獵物



## 【評語】 030317

本研究的重點是探討黃胸泥壺蜂『銜泥建造巢室』的生態行為。偏向一般田野調查報告，發現黃胸泥壺蜂的體長，胸部與泥球大小呈現正相關，體長越大，巢底及壺口也越大。最後觀測天敵對於黃胸泥壺蜂的巢寄生情況，發現天敵由巢室外寄生的方式也會使黃胸泥壺蜂放棄其巢室。這些觀察結果很有趣，不過若能由這些觀察結果推測出可以幫助黃胸泥壺蜂增加其巢室的成功率以及繁殖率，會對環境很有幫助。

科學的研究能遵循：觀察、產生疑問、文獻探討、提出假設、實驗、結果分析、結論等七大步驟進行。研究主題的發想能妥善運用上課所學與生活知識結合，學以致用並詳加觀察和試驗。剛開始使用二氧化碳迷昏壺蜂，常導致個體昏迷不起或死亡；後來改用冰塊降溫，在獲得數據後，拿到原採集地給予放生，充分展現愛護動物的示範。記錄仔細，對於過往文獻之探討亦相當用心，很好的教材資料。唯其實驗設計方面可稍做加強，例如怎樣的土質適合？壺蜂是否具有選擇能力？不同的土做出來的蜂巢樣態/大小又如何？築巢方位的選擇？

## 作品海報



## 摘要

本研究探討黃胸泥壺蜂『銜泥建造巢室』的生態行為。**結果一**：先吸水→做泥球→做巢室→產卵→抓獵物→封口，平均花 6 小時 13 分 32 秒。**結果二**：水與砂土攪拌→身體下壓→砂土成球狀。體長、胸部與泥球間 r 值分別為 0.84、0.71 屬高度相關，推測胸部越大，做的泥球也越大。當抱起泥球 4/5 處，以大顎、左右腳三者平均對乾濕泥球向上施力 0.043gw、0.050gw，是穩定省力的搬運方式。**結果三**：壺蜂體長與巢底、壺口間大小為 2.67±0.14cm、2.54±0.34cm、0.66±0.09cm，r 值在 0.74、0.84 均屬高度相關，推測當體長越大，建造巢底與壺口會越大。卵被產在離壺口約 36% 的巢室頂端，從上而下垂降約 38%。**結果四**：被寄生率 88.5%，壺蜂發現巢室被寄生或破壞，會出現思考性的修補或棄巢行為。

## 壹、研究動機

星期一到學校時，發現有小土塊黏在那裡，同學都以為是惡作劇，於是打掃時用力一揮，土塊破碎，散落出許多綠色幼蟲，請教老師後，才知道土塊是黃胸泥壺蜂的巢，散出來的幼蟲是壺蜂幼蟲的食物。為了瞭解黃胸泥壺蜂，我們上網、去圖書館查資料。但是資料冗雜，彙整後，也產生了疑問？例如明明作者不同，卻有一字不漏的內容，或同個行為有不同的結果，我們懷疑這些資訊都對嗎？老師提醒我們，對想研究的問題，要以研究科學的觀察、產生疑問、文獻探討、提出假設、實驗、結果分析、結論等七大步驟為主軸(文獻一)，不可盲目相信。從所學到的內容思考，尤其當實驗結果與前人不同時，要理性判斷或重新提出新假設，找出答案。因此在運用網路資料時很謹慎，並將課本第一章孕育生命的世界、第二章顯微鏡的使用、第五章動物的行為、第七章解決問題的方法，結合數學、物理等概念，去實驗並解釋黃胸泥壺蜂建造巢室的行為。

## 貳、研究目的

- 一、研究黃胸泥壺蜂銜泥建造巢室的過程
- 二、研究黃胸泥壺蜂如何把砂土做成泥球與運送
- 三、研究黃胸泥壺蜂建造巢室大小的依據
- 四、研究黃胸泥壺蜂的天敵對建造巢室有何影響

## 參、研究設備及器材

1. 手機
2. 攝影機 (SONY)
3. 顯微鏡 (Dino-Lite)
4. 自製尺
5. 量角器
6. 筆電
7. 水盆與冰塊
8. 保麗龍盒
9. 解剖顯微鏡
10. 電子秤 (ATY-124、SNUG-300)

## 肆、研究方法

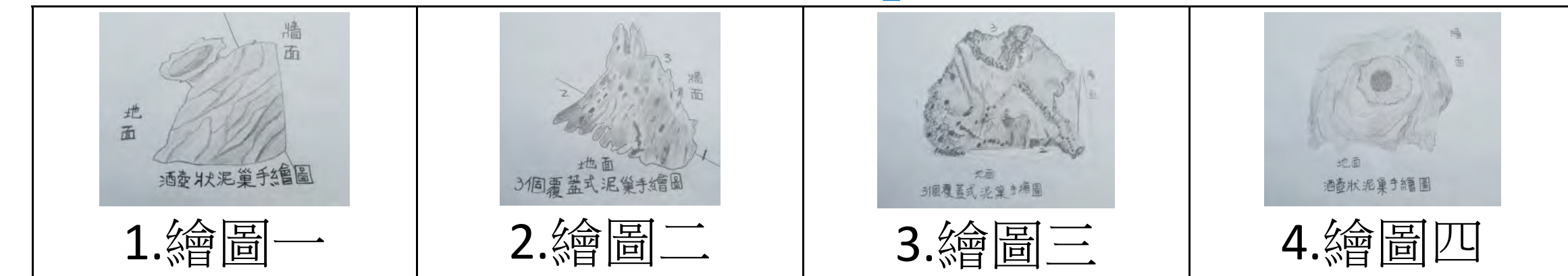
### 研究一、探討黃胸泥壺蜂建造巢室的過程

實驗目的：找出黃胸泥壺蜂建造巢室的完整過程與花費的時間

#### (一) 實驗前的生態觀察與閱讀前人研究報告後的想法：

觀察 122 個樣本、閱讀 3 篇科展報告，但前人對築巢時間統計範圍大，我們想了解建造一個巢室到底要花多少時間。

表 1：黃胸泥壺蜂巢室『手繪觀察圖』



- (二) 觀察與閱讀後我們產生的疑問：為何會做不同形狀的泥巢？
- (三) 提出假設：壺蜂建造巢室的過程與花費時間包括『銜土做巢、產卵、抓獵物、封口』等四個階段。

#### (四) 動手實驗解決疑問：

表 2：記錄黃胸泥壺蜂『建造泥巢』過程的動手實驗操作流程圖照



### 研究二、研究黃胸泥壺蜂如何把砂土做成泥球與運送

實驗目的：找出壺蜂較造的泥球為何是類圓球形，而不是其它形狀

#### (一) 實驗前的生態觀察與閱讀前人文章後的想法：

閱讀 5 篇文章，獲得結果都很相似，但沒有解開我們的疑問。

#### (二) 觀察與閱讀後我們產生的疑問：

- 疑問 1：壺蜂的泥球『為何做成圓球狀？而不做成其它形狀？』
- 疑問 2：壺蜂牠自己怎麼知道『泥球要做多大、多重呢？』

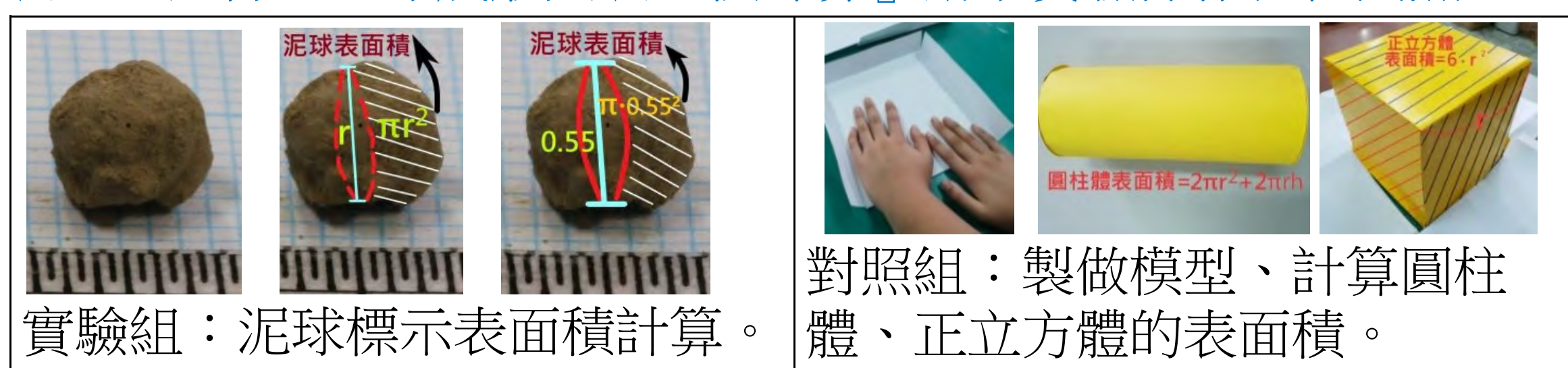
#### (三) 提出假設：圓是穩定的形狀，而泥球多大與壺蜂體形有關。

#### (四) 動手實驗解決疑問：

實驗 2-1 目的：求證壺蜂做出『類圓形泥球而不做其它種形狀』

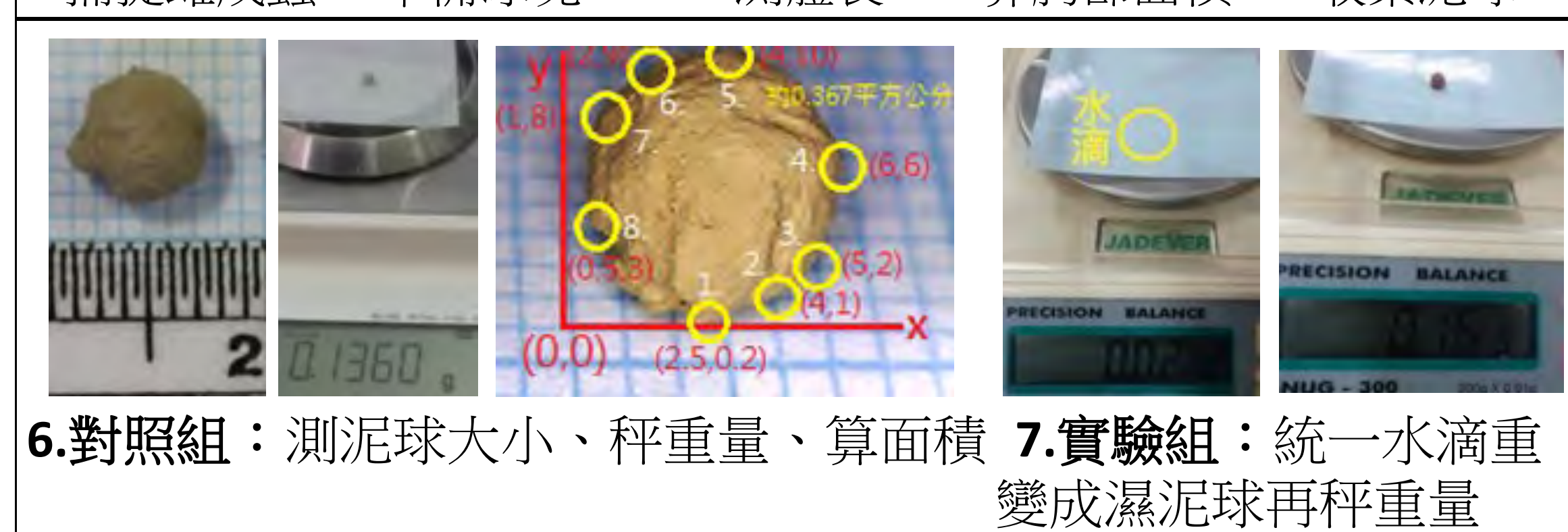
- 步驟 1. 實驗組一假設做球體：直徑=r，表面積=4πr<sup>2</sup> (1/2r)<sup>2</sup>=πr<sup>2</sup>
- 步驟 2. 對照組一假設做圓柱體、正立方體：邊長=r，則圓柱體表面積=2πr<sup>2</sup>+2πrh，正立方體表面積=r<sup>2</sup>×6=6r<sup>2</sup>。

表 3：進行『泥球成形與表面積計算』動手實驗操作流程圖照



實驗 2-2 目的：求證壺蜂泥球要做多大、多重與『胸部大小』有關

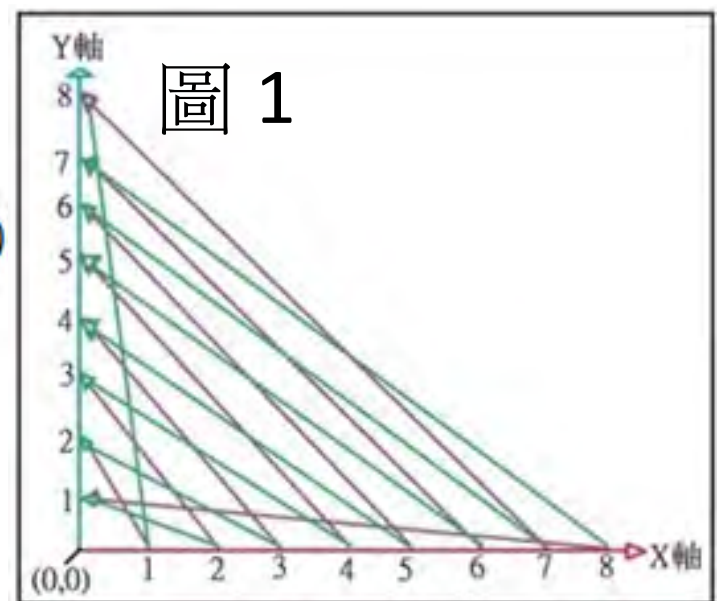
表 4：關於製造泥球的『大小依據』動手實驗操作流程圖照



利用行列式，如下圖公式與圖示，求出壺蜂胸部、泥球面積。

$$\begin{vmatrix} 1 & x_1 & x_2 & x_3 & x_4 & x_5 & x_6 & x_7 & x_8 & x_1 \\ y_1 & y_2 & y_3 & y_4 & y_5 & y_6 & y_7 & y_8 & y_1 & \end{vmatrix} \div 100$$

$$= \frac{1}{2} [(x_1y_2 + x_2y_3 + x_3y_4 + x_4y_5 + x_5y_6 + x_6y_7 + x_7y_8 + x_8y_1) - (x_2y_1 + x_3y_2 + x_4y_3 + x_5y_4 + x_6y_5 + x_7y_6 + x_8y_7 + x_1y_8)] \div 100$$



### 研究三、研究黃胸泥壺蜂建造巢室大小的依據

實驗目的：找出黃胸泥壺蜂建造『巢底與壺口』的依據

#### (一) 實驗前的生態觀察與閱讀前人文章後的想法：

閱讀前人 3 篇報告，結果都很相似，並沒解開我們的疑問。

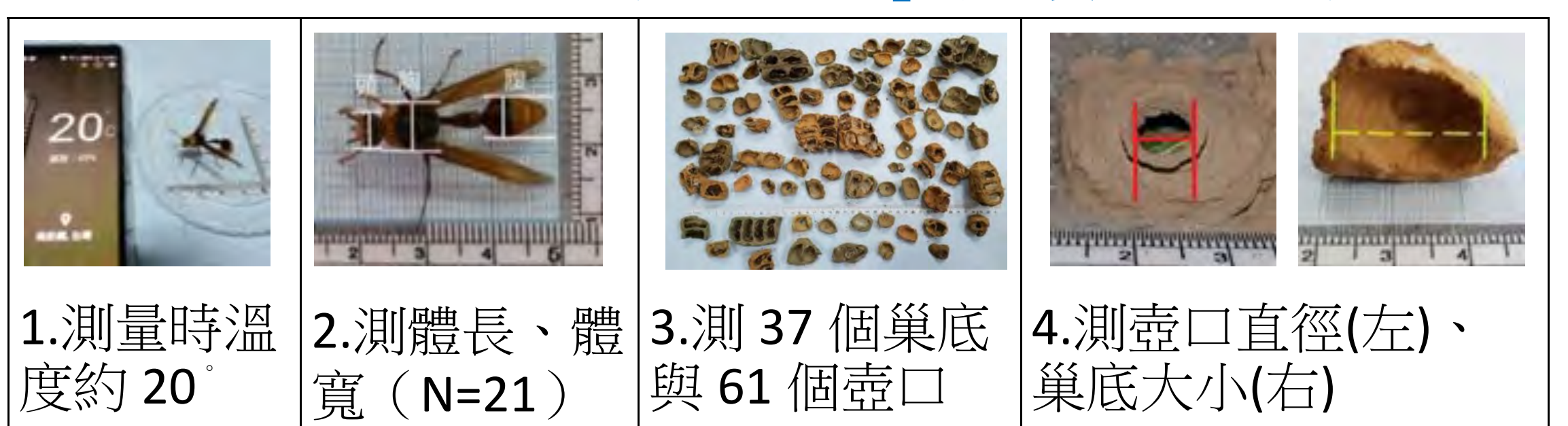
#### (二) 觀察後我們產生的疑問：

巢底、壺口大小是依據什麼條件丈量、塑造而成的？

#### (三) 提出假設：提出泥巢中『巢底與壺口大小的建造』與『成蟲體形大小』間有關係。

#### (四) 動手實驗：測量壺蜂體長、體寬與巢底、壺口大小

表 6：測量『壺蜂體長與巢底、壺口』動手實驗操作流程圖照



### 研究四、研究天敵對建造巢室的影響

實驗目的：找出『天敵寄生的方法，及寄生後對建造巢室的影響』

#### (一) 實驗前的生態觀察與閱讀前人研究後的想法：

採集巢室時，發現有不少的巢室都被天敵寄生，我們很好奇這些天敵是如何在壺蜂巢室內寄生？實驗前，閱讀了 2 篇前人科展報告。我們獲得的想法是『壺蜂的巢容易被寄生，且有肉蠅、青蜂、蜘蛛、小繭蜂、螞蟻等天敵，還有被棄巢的巢室』。

表 7：實驗前我們採集『發現 22 個泥巢被寄生』的初步圖照



#### (二) 觀察後產生的疑問：

第一個疑問：天敵到底是如何進入壺蜂巢室裡面寄生？

第二個疑問：寄生對壺蜂建造泥巢有什麼影響呢？

#### (三) 提出假設：天敵以『守株待兔』的方式進入巢室內寄生。

#### (四) 動手實驗解決疑問：

步驟 1. 觀察天敵『守株待兔』的寄生方式：記錄天敵寄生種類。

步驟 2. 天敵對建造巢室的影響：天敵寄生後對建造巢室的影響。

步驟 3. 天敵對完成巢室後的影響：記錄天敵寄生對壺蜂的影響。

表 8：觀察『天敵守株待兔寄生』動手實驗操作流程圖



## 伍、研究結果

### 研究一、探討黃胸泥壺蜂建造巢室的過程結果

表 9：記錄黃胸泥壺蜂『建造巢室』結果流程圖照



圖 (2) 壺蜂築巢過程花費時間



圖 (2) 說明：壺蜂建造巢室，大約銜了 17 ~ 22 顆泥球、產 1 粒卵、抓 3 ~ 8 隻獵物，用 3 ~ 4 顆泥球封巢。



壺蜂建造巢室往返平均花費時間：

1. 銜一粒泥球: 140sec±3sec (N=58)
2. 產一粒卵: 82sec±5sec (N=3)
3. 抓一隻獵物: 3437±354sec (N=17)
4. 封口: 127sec±28sec (N=11)
5. 築好一個巢室平均需要花 6 小時 13 分鐘 32 秒 (N=3)



### 實驗後的好奇與存疑？

產生好奇：壺蜂飛出去到飛回來間做了些什麼事、做一顆泥球花費的時間？  
我們的觀察與閱讀 5 本書後產生的想法：

有的書說直接找濕泥地，有的說先吸水，說法不同，令我們更存疑。

### 再次提出實驗新假設：

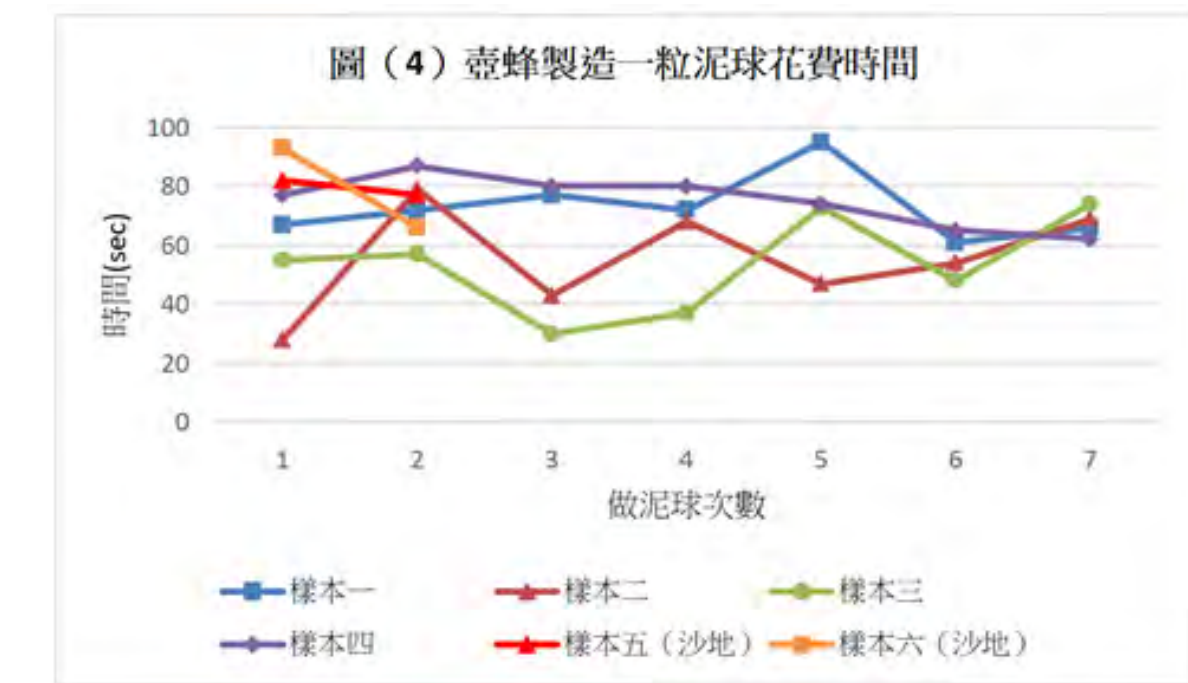
我們以自己的觀察記錄，提出壺蜂是『直接在乾土上做泥球』的新假設。

### 再次實驗動手解決疑問：

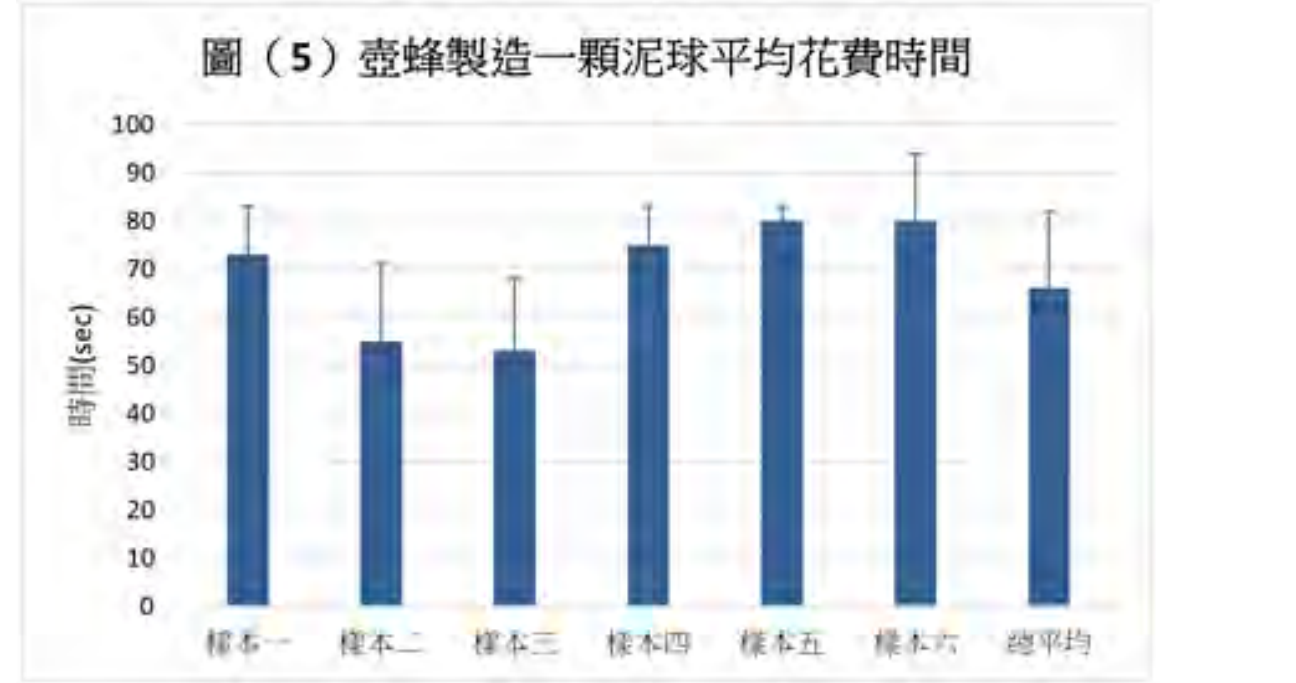
1. 泥球『材料』的來源：在鳳凰木、櫻花樹下的乾土旁拍攝做泥球過程。
2. 統計做泥球『花費時間』：每隻重複觀察 7 次，記錄製造泥球的時間。

### 再次實驗的結果：

表 12：黃胸泥壺蜂製造泥球花費時間統計結果圖照 (N=6)



壺蜂做一粒泥球花費時間，最長時間為 95sec，最短 28sec。



壺蜂平均做一粒泥球花費 66 ± 16sec。

### 再次實驗後還存在的疑問？

意外發現在泥地上留下『大片水漬』。我們產生疑問：大片的水漬從哪來？

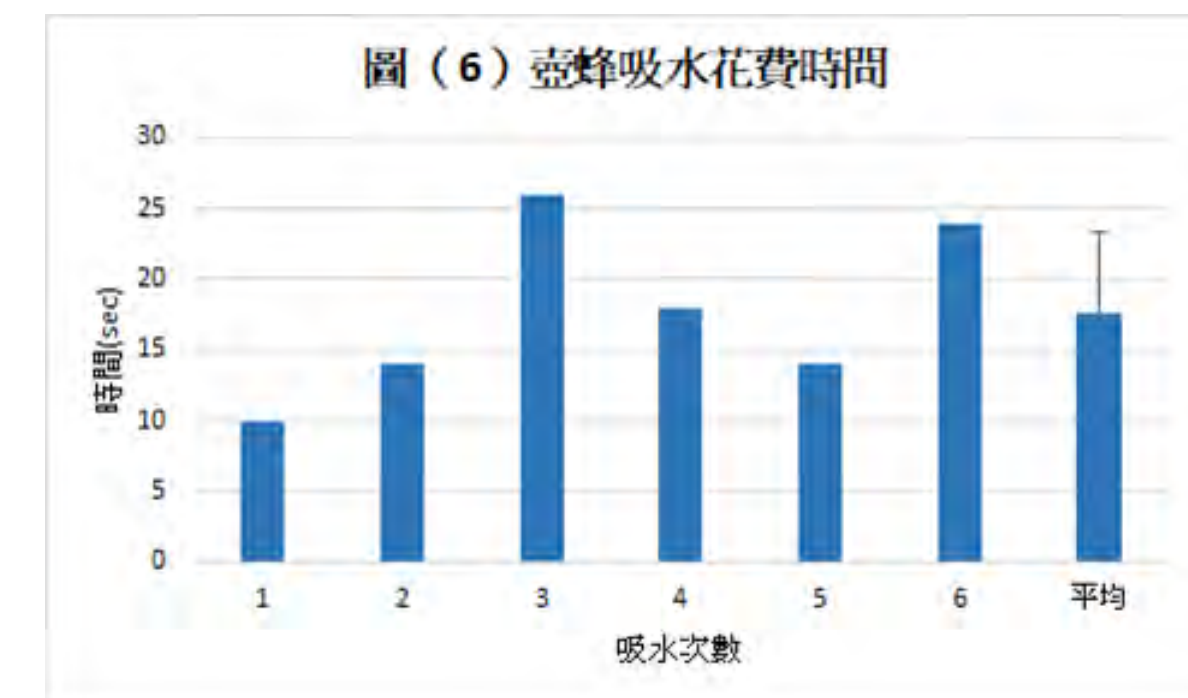
### 再度修改前兩次假設，並提出新假設：

提出假設做泥球順序：吸水→水與唾液混合→大顎前腳攪拌做成泥球

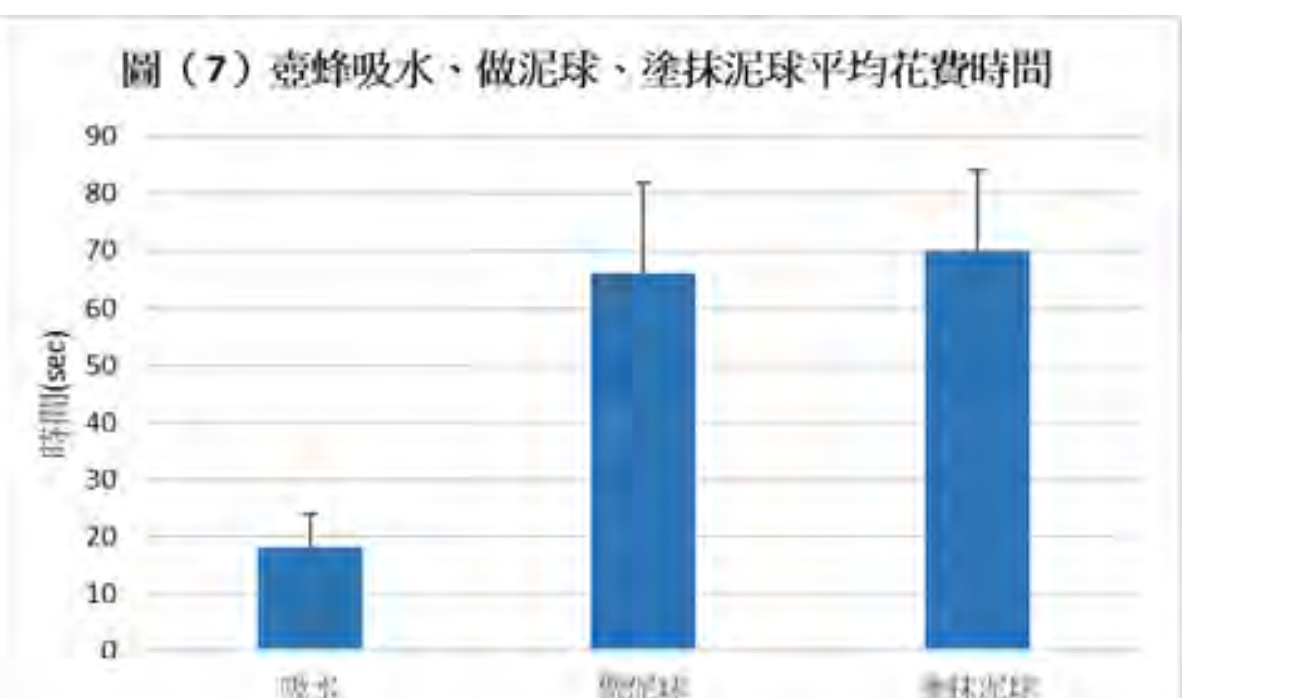
### 第三次實驗動手解決疑問：

追蹤壺蜂到集水區→架攝影機→等待壺蜂飛回集水區→算吸水花費時間。

### 第三次重複實驗壺蜂吸水一趟必須花費的時間結果圖照：



壺蜂 6 次吸水花費時間 10 ~ 26sec，平均一次花費 18±6sec。

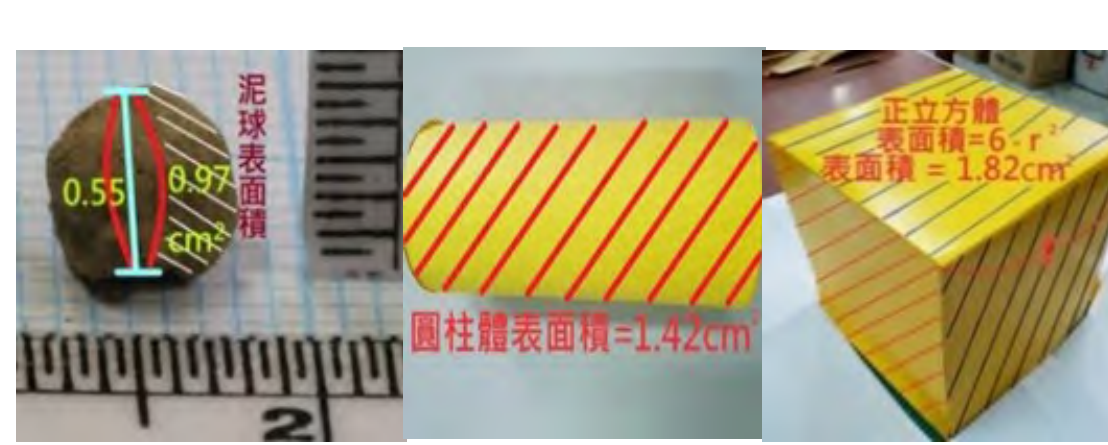


平均花費時間：吸水 18±6sec，做泥球 66±16sec，塗抹泥球 70±14sec。

### 研究二、研究黃胸泥壺蜂如何把砂土做成泥球與運送實驗結果

#### 實驗 2-1：求證壺蜂做出『類圓形泥球而不做其它種形狀』的結果

1. 壺蜂做泥球過程分為三個步驟：①砂土的攪拌 ②球塊初形成 ③類泥球成形
2. 球體表面積 0.97cm<sup>2</sup> < 圓柱體 1.42 cm<sup>2</sup> < 正立方體 1.82 cm<sup>2</sup>。
3. 壺蜂沾水、胸部下壓、雙腳聚集等動作都可幫助砂土吸附成團，依自然法則，球狀的表面積較小、自由能最小化，相對較為穩定，因此自然界裡我們會看到昆蟲或者其他生物常常把巢室做成球狀或圓柱狀，卻很少聽到巢室被做成正立方體形狀。



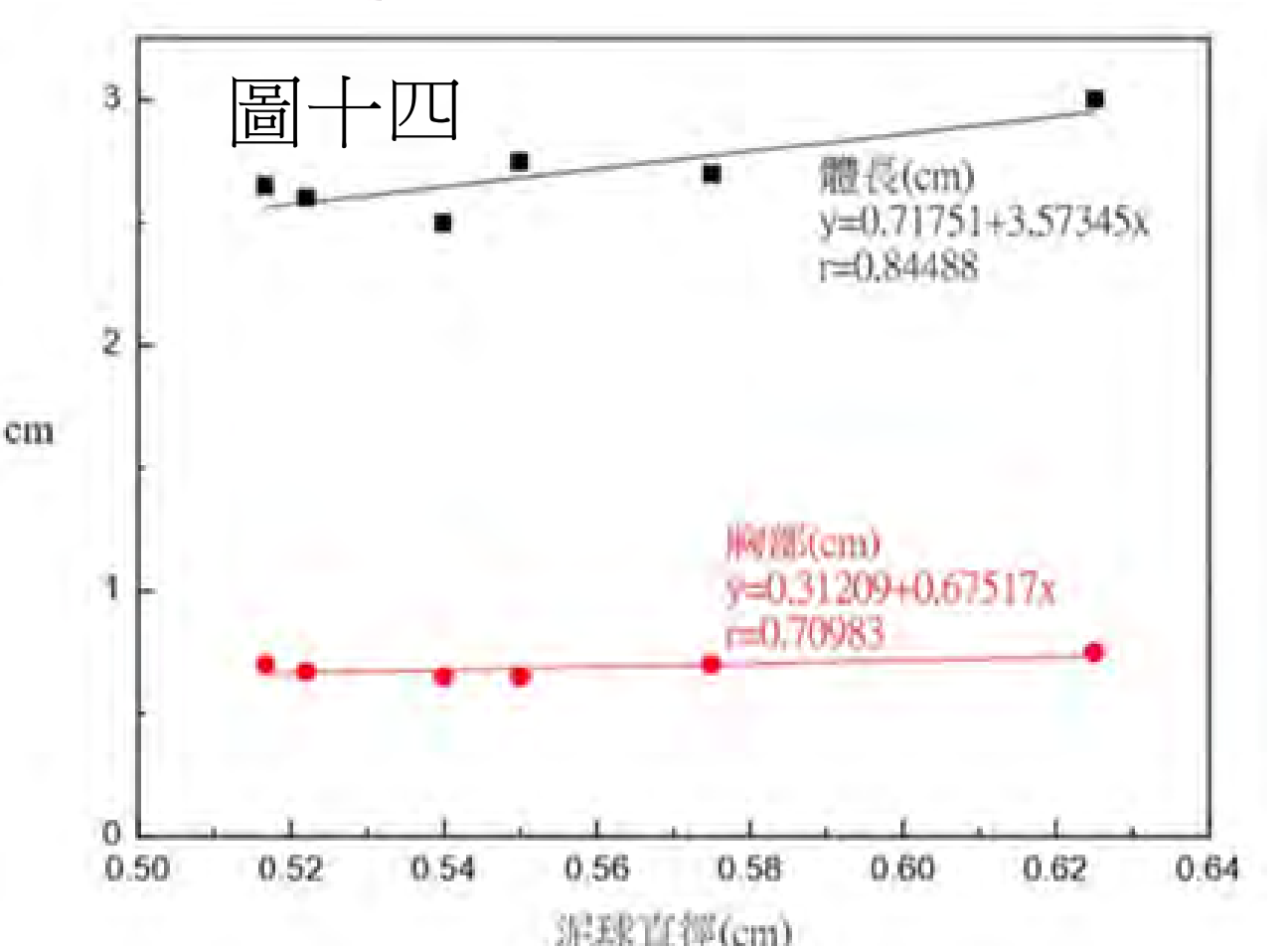
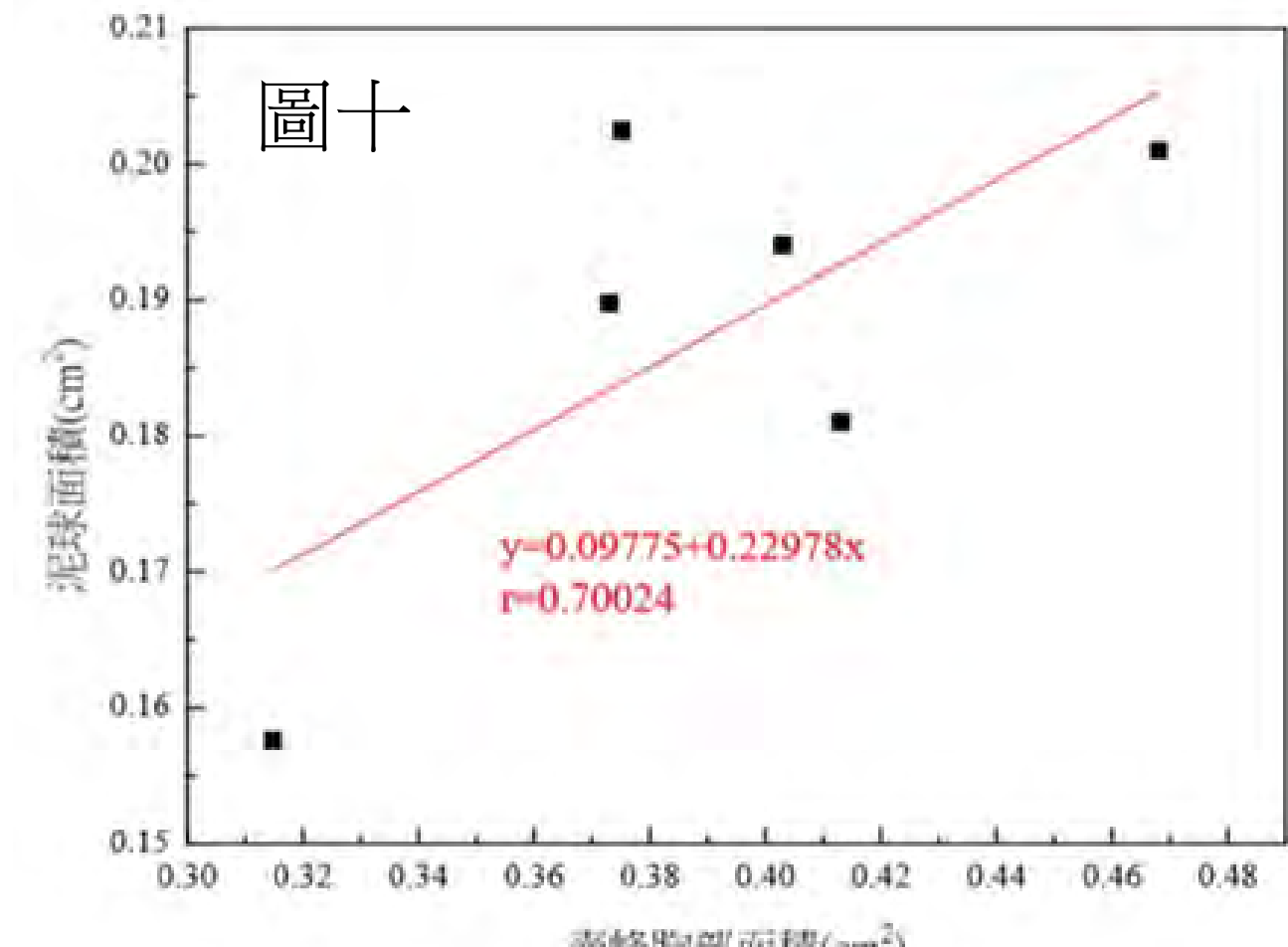
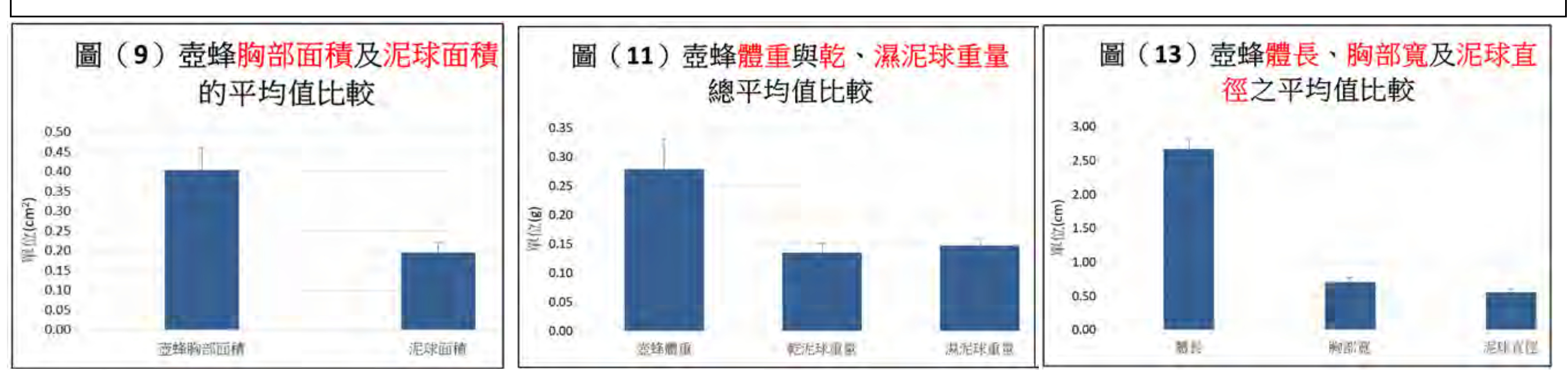
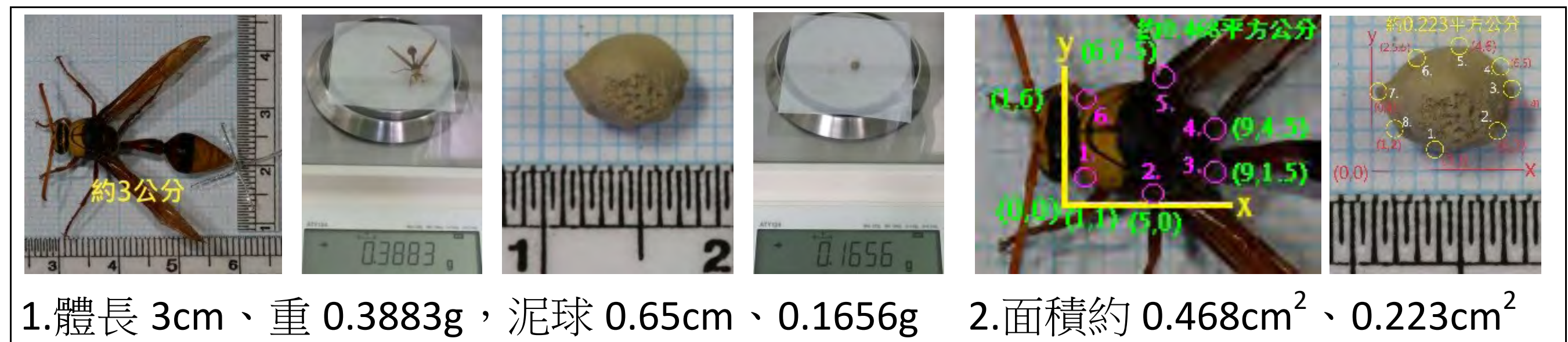
3 種不同形狀的表面積結果

#### 表 16：壺蜂利用『大顎挖土、胸部下壓把砂土做成泥球狀』的結果圖照



### 實驗 2-2：壺蜂『泥球須做多大、多重』的結果

表 17：『壺蜂體長、體重、胸部面積與泥球直徑重量、面積』結果圖



圖十說明：壺蜂胸部面積與泥球面積 r 值是 0.70，屬於高度相關。

圖十四說明：泥球直徑大小與體長、胸部間 r 值 0.84、0.71，達高度相關。

### 實驗後的存疑？

從研究二的結果，我們產生了『壺蜂製造的泥球，牠是如何進行搬運』的疑問？我們實驗前閱讀了三篇文章解惑，前人資料結果很相似，但並沒有解答『壺蜂如何抱起泥球？如何運送泥球？』的疑問？

### 再次提出實驗新假設：

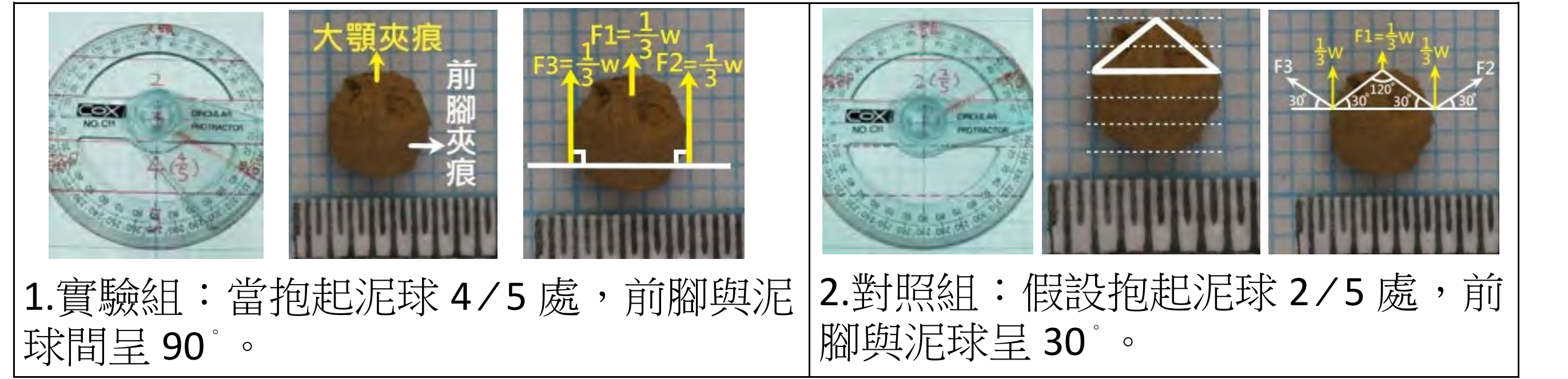
提出壺蜂『以大顎、左右前腳三者施力夾住泥球與搬運』的新假設。

### 再次實驗動手解決疑問：

實驗(一)目的：找出壺蜂『抱起泥球的最佳位置範圍』

- 步驟：以 6 隻壺蜂搬運，另外撿拾 23 粒泥球，平均重量(w)0.15gw 當樣本計算
1. 實驗組『抱起泥球 4/5 範圍』：把測量器分成 5 等分，依大顎、左右前腳抱痕，畫出 4/5 處，當  $F_2 \sin 90^\circ = (1/3)w$ ,  $F_1 = F_2 = F_3$ ，求抱 4/5 位置與施力。
  2. 對照組：假設大顎、左右腳抱壓痕跡在泥球的 2/5 處，當  $F_2 \sin 30^\circ = (1/3)w$ ,  $F_2 = (1/3)w / \sin 30^\circ = (2/3)w$ ,  $F_2 = F_3$ 。實驗設計如下表：

表 18：關於黃胸泥壺蜂『搬運泥球最佳位置』，動手實驗操作流程圖照



1. 實驗組：當抱起泥球 4/5 處，前腳與泥球間呈 90°。

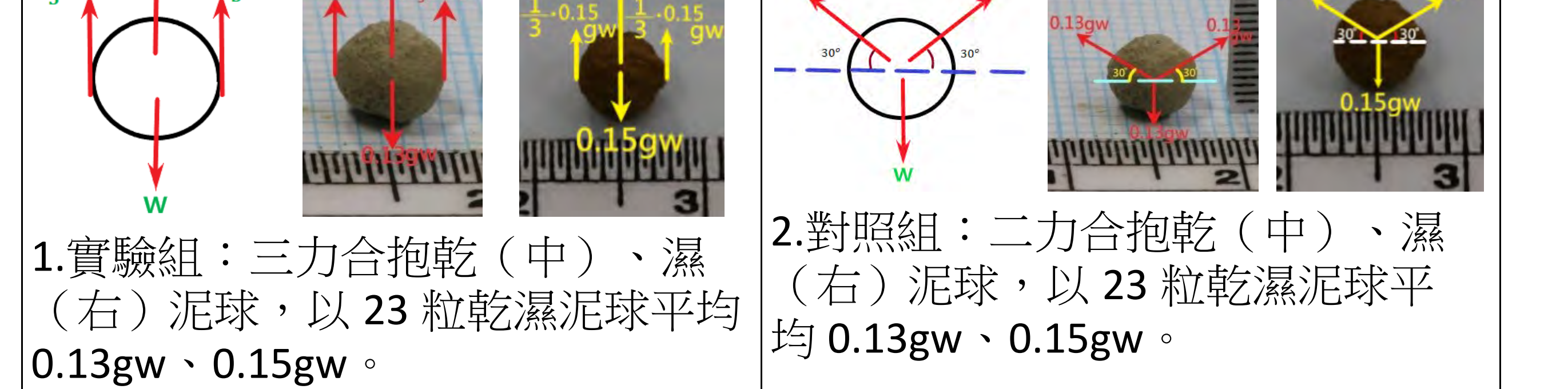
2. 對照組：假設抱起泥球 2/5 處，前腳與泥球呈 30°。

### 實驗(二)目的：找出壺蜂在『搬運泥球的施力方式』

步驟：分兩組實驗，在搬運施力的過程，以 23 粒平均重量(w)0.15gw 計算。

1. 實驗組『三力合抱泥球』：設大顎、左右腳三者施力，施力為泥球重的 1/3。
2. 對照組『二力合抱泥球』：設左右腳二者施力，與水平成 30°。實驗如下表

表 19：關於黃胸泥壺蜂『搬運-乾、濕泥球施力』，動手實驗操作流程圖照



1. 實驗組：三力合抱乾(中)、濕(右)泥球，以 23 粒乾濕泥球平均 0.13gw、0.15gw。

2. 對照組：二力合抱乾(中)、濕(右)泥球，以 23 粒乾濕泥球平均 0.13gw、0.15gw。

### 再一次實驗壺蜂在搬運泥球位置與施力的結果

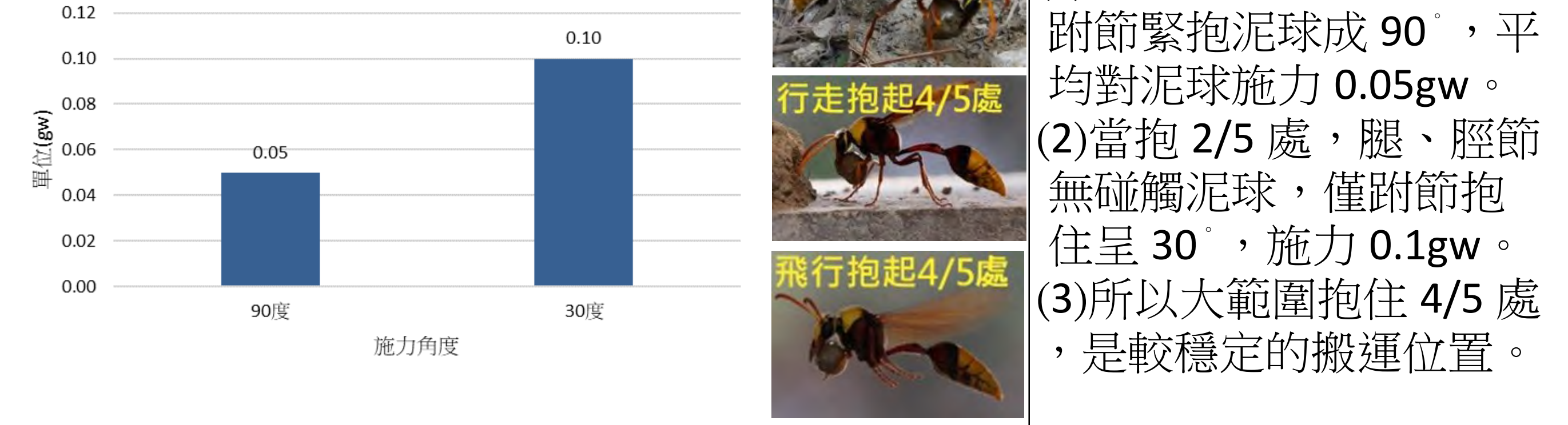


圖 15 說明：(1)當抱起 4/5 時，脛節與跗節緊抱泥球成 90°，平均對泥球施力 0.05gw。(2)當抱 2/5 處，腿、脛節無碰觸泥球，僅跗節抱住呈 30°，施力 0.1gw。(3)所以大範圍抱住 4/5 處，是較穩定的搬運位置。

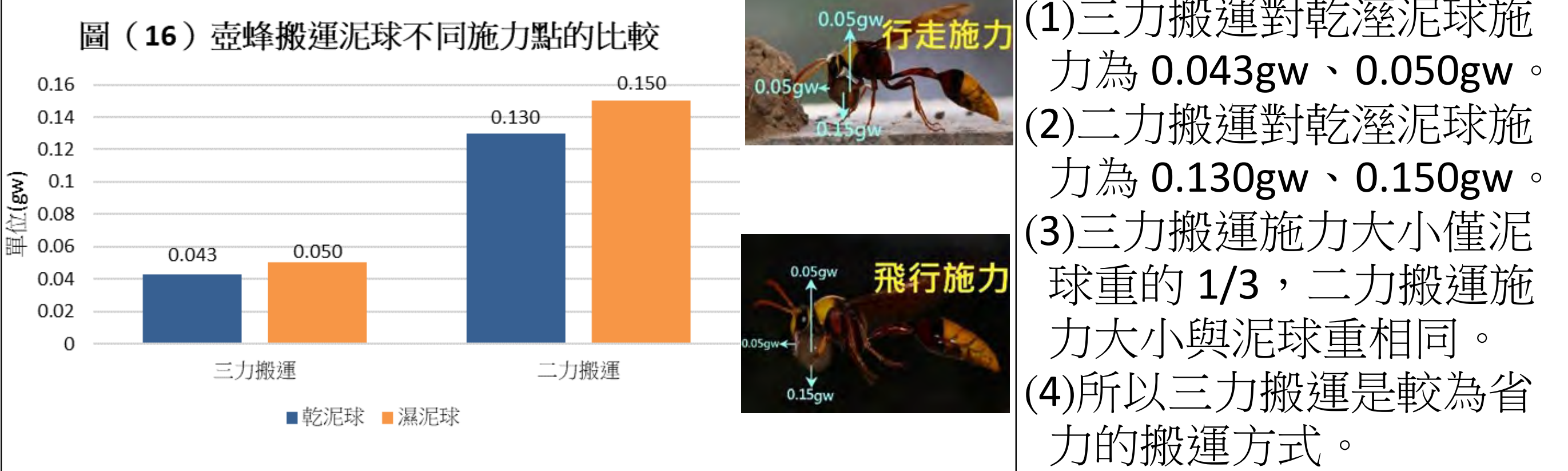


圖 16 說明：(1)三力搬運對乾溼泥球施力為 0.043gw、0.050gw。(2)二力搬運對乾溼泥球施力為 0.130gw、0.150gw。(3)三力搬運施力大小僅泥球重的 1/3，二力搬運施力大小與泥球重相同。(4)所以三力搬運是較為省力的搬運方式。

表 20：壺蜂在地面與飛行中『三力合抱位置與二力合抱』搬運結果圖照

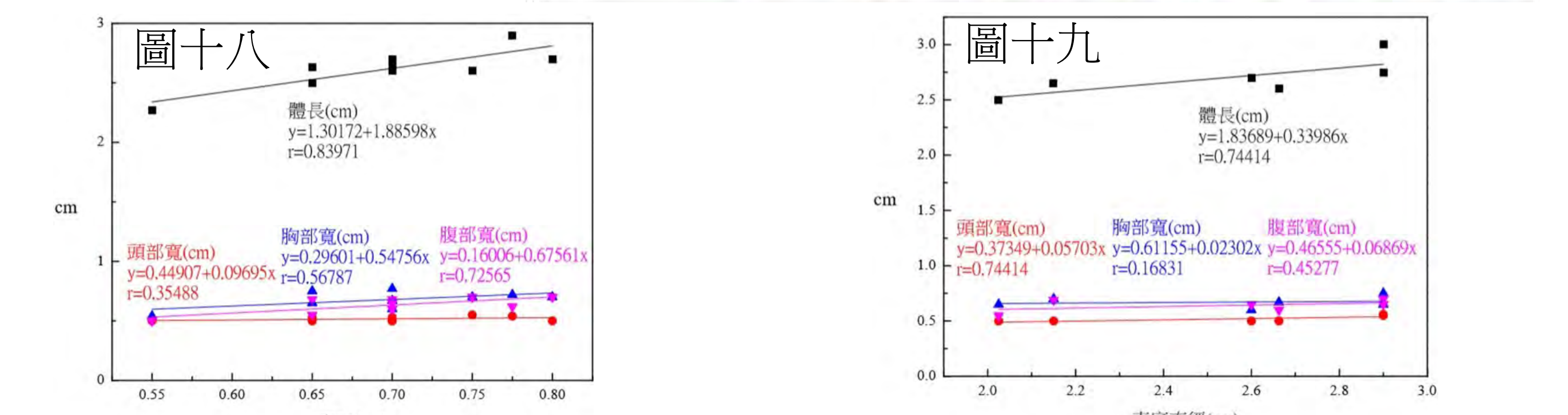
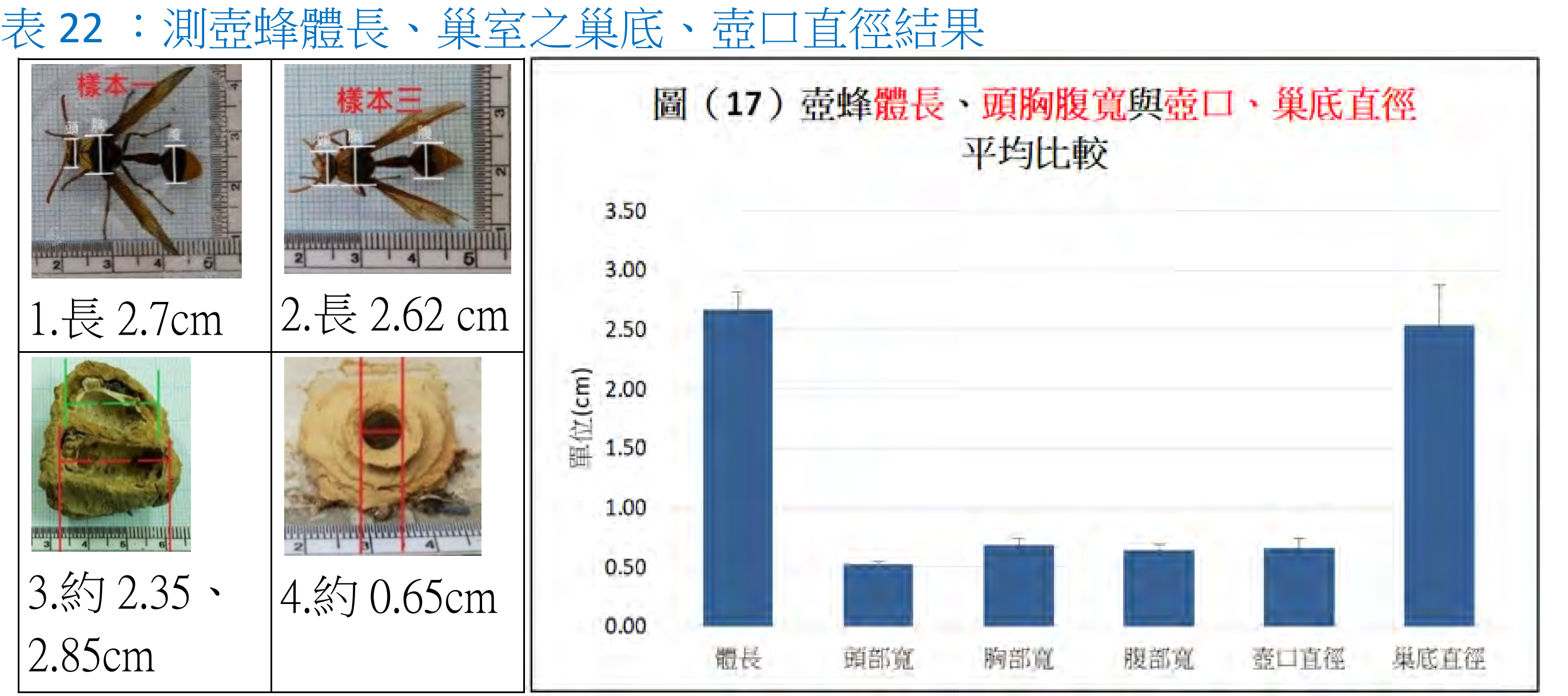


### 研究三、研究黃胸泥壺蜂建造泥巢大小的依據結果

表 21：壺蜂依照體長大小『塗抹唾液標記巢底當作記號』的結果圖照



表 22：測壺蜂體長、巢室之巢底、壺口直徑結果



壺口直徑與體長、腹部 r 值分別為 0.84、0.73，體長、腹部越大壺口會越大。巢底直徑與體長 r 值 0.74，當體長越長，建造的巢底直徑會越大。



### 實驗後的存疑：

產生疑問：產卵的時機點、把卵產在哪裡？

閱讀前人報告以解惑：

閱讀 5 篇文章，竟然有 3 種產卵方式。

再次提出實驗新假設：

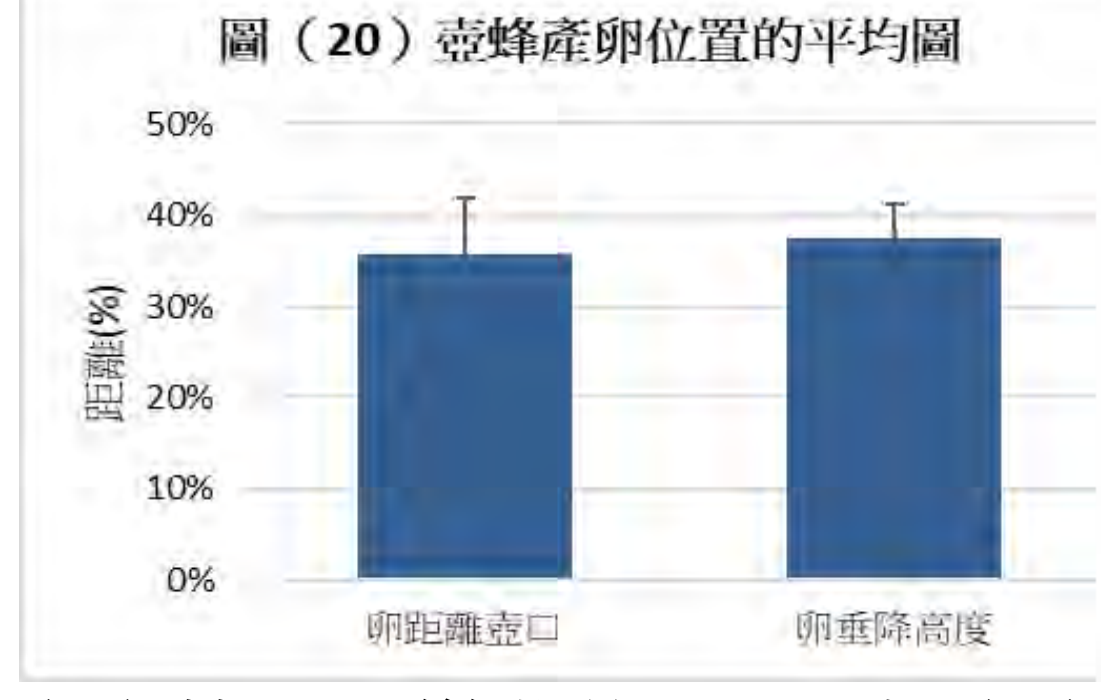
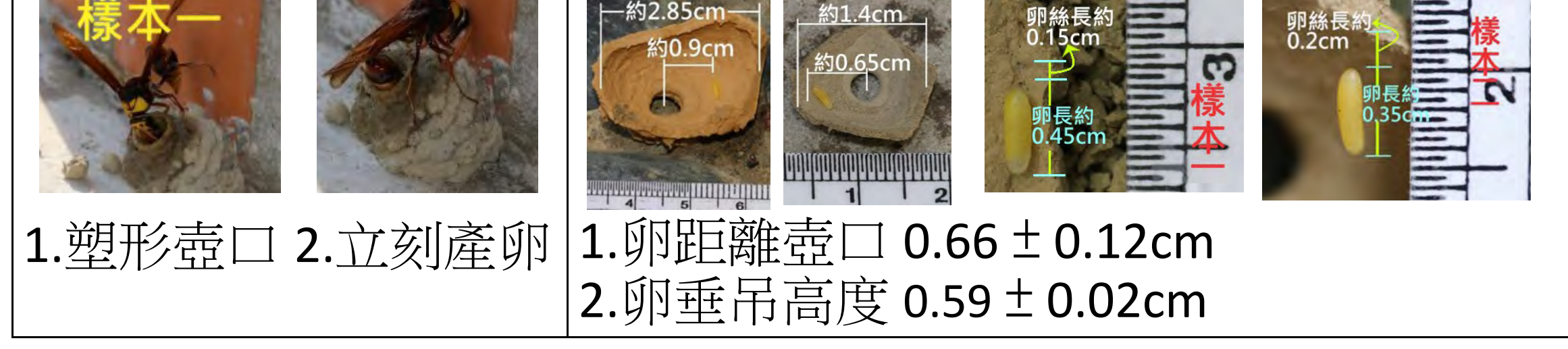
提出壹蜂『完成泥巢→產卵→捉獵物，且卵產在泥巢上方』

再次實驗動手解決疑問：

1.觀察『產卵與抓蟲的順序』 2.測量『卵在巢室內位置』

再次實驗的結果：

表 25：壹蜂『塑形壺口後立刻產卵與產卵位置』結果圖照



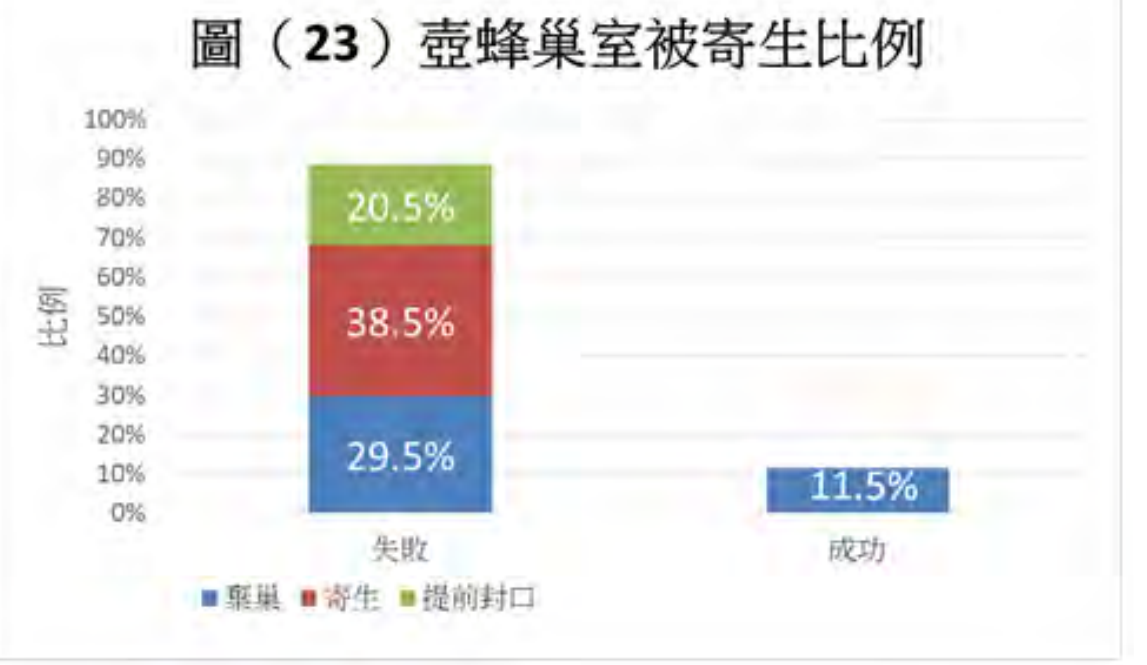
產卵管可以彎曲約 45°，把卵產在離壺口約 36% 的巢室頂端泥壁上，且卵垂降的平均高度位於巢室高的 38% 處。

### 研究四、研究天敵對建造巢室的影響結果

表 27：天敵寄生導致提前封口、棄巢、獵物及壹蜂幼蟲被吃光



表 28：『天敵尾隨等待寄生的過程』結果圖照



### 實驗後的存疑？

當巢室被寄生後，是否會有『類似思考或推理的能力』？

再次提出實驗新假設：

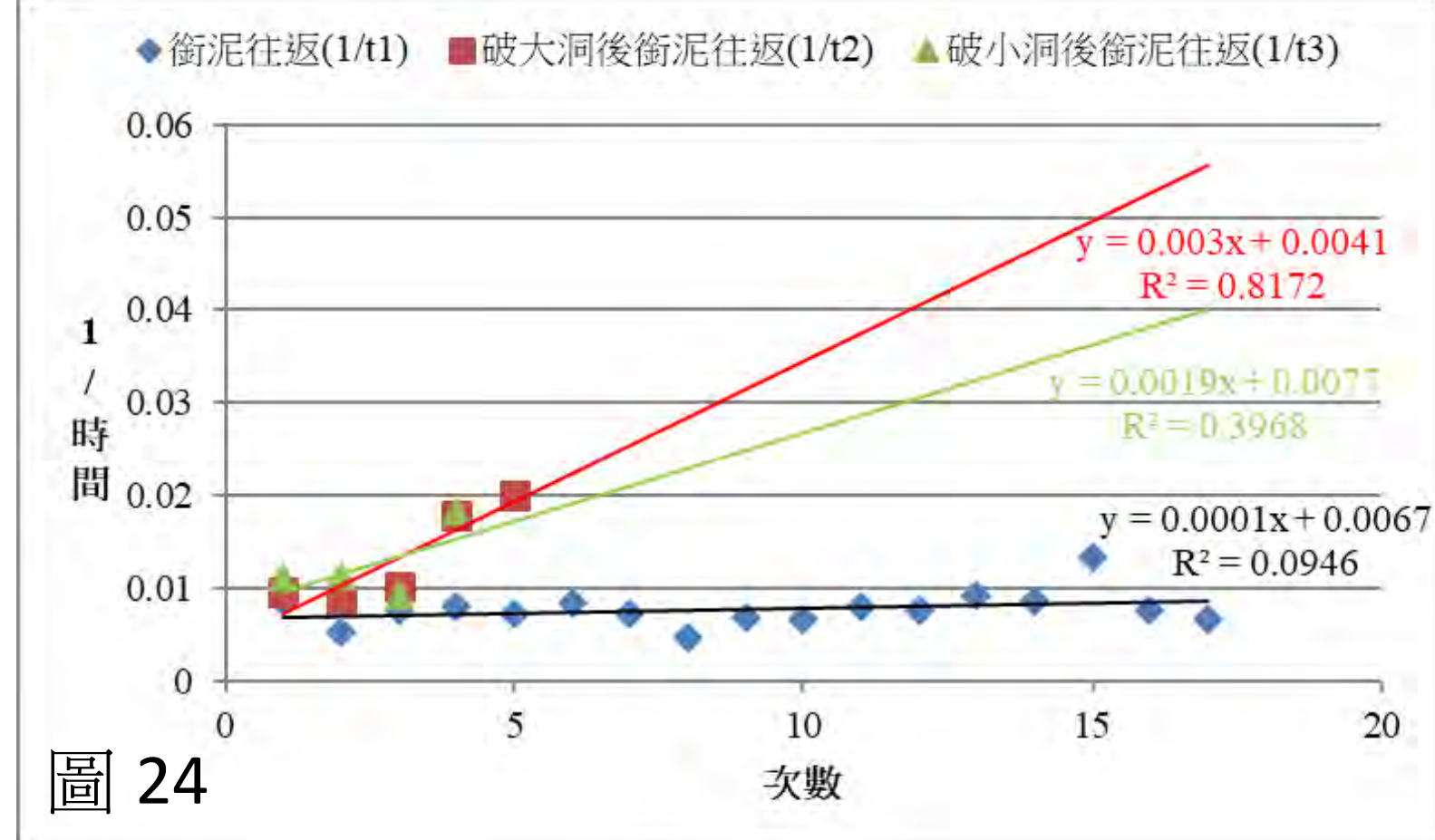
提出巢室若被撞破，壹蜂會出現『思考性修補巢室』的假設。

再次實驗動手解決問題：

實驗組--巢室內無幼蟲『巢室被異物撞破大洞』

對照組--巢室內有幼蟲『巢室被異物撞破小洞』

表 30：再次實驗獲得的破裂的大小洞修補結果：



由圖可知，當巢室破大、小洞之後，斜率 0.003、0.0019 > 0.0001 獲得證明，壹蜂返回的速率變化大於平常往返的速率變化。

### 陸、問題與討論

#### 一、『相似種與校園常見西洋蜂能否建巢室』的討論

表 31：『黃胸泥壺蜂與虎斑泥壺蜂、西洋蜂型態間』比較結果

	黃胸泥壺蜂特徵	虎斑泥壺蜂特徵	西洋蜂特徵
大顎：有凹處能夾泥球	會做較大泥球	會做較小泥球	大顎小、前腳佈滿細毛，無法夾、抱泥球
前腳：腿節微彎，能抱泥球	、能抱泥球	、能抱泥球	

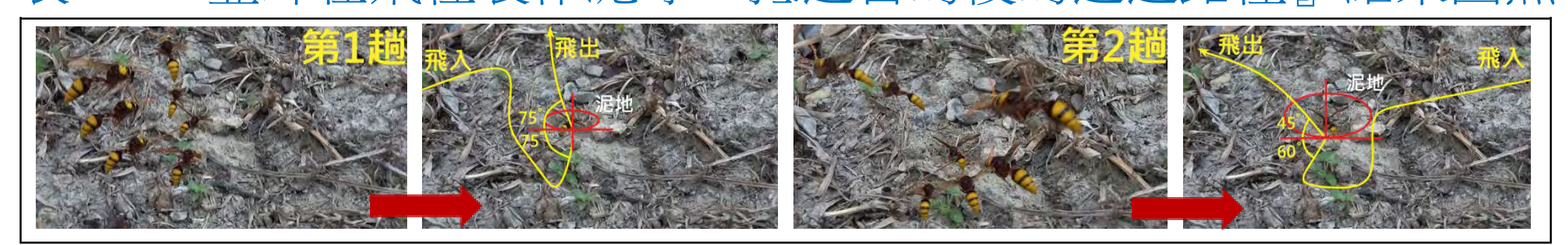
#### 二、為何『不在濕泥地上做泥球或把巢室築在戶外？』的問題討論

表 32：為何不在濕泥地上做泥球或把巢室築在戶外討論結果



#### 三、對於天敵『防禦對巢室影響』的問題討論

表 37：壹蜂在飛往製作泥球『抵達目的後的迂迴路徑』結果圖照



### 四、我們邀『大家一起愛護壹蜂，不可再無知把巢室掃破了』

表 38：位在『窗邊或鋁門角落曾被無知的我們掃破』結果圖照



### 柒、結論

#### 研究一、黃胸泥壺蜂銜泥建造巢室的過程實驗結論：

- (1) 壹蜂築一個巢室，需花費 6 小時 13 分鐘 32 秒。
- (2) 再實驗的結果：做泥球  $66 \pm 16\text{sec}$ 、吸水  $18 \pm 6\text{sec}$ 、塗抹泥球  $70 \pm 14\text{sec}$ 。築巢過程：吸水→做泥球→築巢→產卵→抓獵物→封口

#### 研究二、研究黃胸泥壺蜂如何把砂土做成泥球與運送實驗結果

- (1) 水與砂土攪拌→身體下壓形成泥塊→類泥球成形。因球體表面積  $0.97\text{cm}^2 <$  圓柱  $1.42\text{cm}^2 <$  正方體  $1.82\text{cm}^2$ 。依自然法則，球狀表面積小、自由能最小化較穩定，因此壹蜂會做類圓泥球。
- (2) 體長、胸部與泥球間都屬高度相關。壹蜂體重與乾濕泥球重量屬中度相關。
- (3) 再次實驗獲得的搬運方式結果：當抱起泥球 4/5 處，用大顎、左右腳三者向上施力，對乾濕泥球施力為  $0.043\text{gw}$ 、 $0.050\text{gw}$ ，僅泥球重 1/3，是較穩定省力的搬運方式。

#### 研究三、研究黃胸泥壺蜂建造巢室大小的依據實驗結果

- (1) 體長  $2.67 \pm 0.14\text{cm}$ 、頭寬  $0.53 \pm 0.02\text{cm}$ 、胸寬  $0.70 \pm 0.07\text{cm}$ 、腹寬  $0.64 \pm 0.05\text{cm}$ ，巢底  $2.54 \pm 0.34\text{cm}$ 、壺口  $0.66 \pm 0.09\text{cm}$ 。
- (2) 體長、巢底間屬高度相關。體長、腹部與壺口也屬高度相關
- (3) 再實驗獲得的結果：壹蜂先產卵，再抓獵物。產卵管可以彎曲約 45°，把卵產在離壺口約 36% 的巢室頂端泥壁上。而卵由絲線固定，垂降於巢室高的 38% 處。

#### 研究四、研究天敵對建造巢室的影響實驗結果：

- (1) 尾隨壹蜂進行寄生，造成 36 個棄巢、25 個泥巢提前封口。
- (2) 122 個巢室中寄生率高達 88.5%，順利成長只有 11.5%。
- (3) 再實驗的結果：當巢室破洞後，斜率  $0.003$ 、 $0.0019 > 0.0001$  證明返回的速率變化 > 平常往返速率變化。綜合以上結果，得知壹蜂是有系統地在築巢，當巢室被寄生、侵犯，會思考性的做出偵測、加速往返與增加檢查次數、修補巢室等動作挽救，一旦發現無法彌補會出現提前封口或者棄巢行為。

表 39：研究總結，綜合前人研究報告與我們實驗的結論比較

前人的觀察結果	我們推翻前人觀察實驗與新發現
1. 以每天 0.5~1 個酒壺型巢穴的速度，在 1 至 2 天內完成巢室。 2. 築巢只要半天。	1. 推翻：大範圍的築巢時間觀察。 2. 新發現：築巢過程有吸水、用泥球做巢室、產卵、抓獵物、封口。 3. 新發現：算出銜泥球往返、產卵、抓獵物、封口、完成一個巢平均花費時間。
1. 泥壺蜂往往飛去潮濕泥地取材。 2. 泥壺蜂會先吸足水。	1. 推翻：先飛去潮濕泥地取回材順序。 2. 新發現：統計出吸水時間與取材順序必須先吸水→飛到乾砂土吐水攪拌。 3. 新發現：因球狀表面積較小、自由能最小化較穩定，因此把泥做成『類圓形球狀』。
1. 以口攪拌成泥球 2. 以口潤濕乾土，混合成泥球。 3. 前往泥地攪和出一顆泥球。	1. 推翻：語意含糊以口攪拌成泥球觀察。 2. 新發現：吐水在泥上→大顎夾鬆泥土再挖土→前肢擋土→胸部腹面壓土→形成泥球。 3. 新發現：泥球坐大或做小與體長、胸部間有高度相關性。
1. 以大顎、前足將泥團夾住。 2. 啣泥球去築巢。	1. 新發現：抱起泥球 4/5 處支撐接觸面大。 2. 新發現：以大顎、左右腳三者向上施力，是較穩定、省力的搬運方式。
1. 留下一個小洞口作為產卵與塞入獵物的出入口。 2. 巢室有「壺口」與「壺頸」。	1. 新發現：以體長為基準，用唾液標示巢底範圍。證實巢底大小與體長間有高度相關性。 2. 新發現：壺口大小決定腹部能不能伸入產卵、放入獵物的出入口。證實壺口與體長、腹部間有高度相關性。
1. 泥巢中，各有一粒卵在巢中。 2. 先抓鱗翅目的幼蟲再入巢產卵。 3. 卵產在天花板上 4. 先產卵再抓獵物 5. 在獵物身上產卵	1. 推翻：在獵物身上產卵或先抓獵物再產卵。 2. 新發現：築好壺口→腹部深入產卵管彎曲 45°，把卵產在離壺口 36% 巢室頂端泥壁上→飛去抓獵物，且卵由絲線固定，從巢室頂端泥壁垂降於巢室高的 38% 處。因為卵垂降下來，會碰到巢室內的獵物，所以常常讓人誤以為卵被產在獵物上。
1. 幼蟲在未離開巢前就已經死亡。 2. 羽化成功低，推測與天敵有關。 3. 受到干擾，會把獵物咬出丟棄。	1. 新發現：天敵尾隨壹蜂到巢室寄生。 2. 新發現：巢室被寄生，壹蜂有棄巢、提前封口、檢查或巢室內壹蜂成長失敗等影響。 3. 新發現：面對巢室被破壞時，壹蜂會有修補巢室、加速往返且胡亂丟泥球或把獵物咬出丟棄、最後棄巢等思考性的行為。

### 捌、參考資料及其他

- 一、余哲榮老師的教學網站—黃胸泥壺蜂 • 取自 [https://sites.google.com/a/cyhs.tc.edu.tw/arthur\\_cyhs/zhang-yi-sheng-wu-duo-yang-xing/zhang-yi-kun-chong-jian-wen/huang-xiong-ni-hu-feng](https://sites.google.com/a/cyhs.tc.edu.tw/arthur_cyhs/zhang-yi-sheng-wu-duo-yang-xing/zhang-yi-kun-chong-jian-wen/huang-xiong-ni-hu-feng)
- 二、孟琬瑜，大自然的泥水匠—黃胸泥壺蜂 • 取自 <https://e-info.org.tw/node/60076>
- 三、這是小明的部落格 • 取自 <https://blog.xuite.net/m49.k5083/twblog/430625362-%E9%BB%83%E8%83%B8%E6%B3%A5%E5%A3%BA%E8%9C%82%E7%AF%89%E5%B7%A2>
- 四、黃胸泥壺蜂 • 取自 <http://icontent.nkps.tp.edu.tw/insectinfo/SpeciesShow.aspx?specID=416>
- 五、陳清枝，黃胸泥壺蜂築巢全都錄 • 公民新聞 • 取自 <https://www.peopo.org/news/20949>
- 六、善用邏輯解數學算式 研究發現黃蜂「思考」具有人類特徵 • 自由時報 • 取自 <https://news.ltn.com.tw/news/world/breakingnews/2784703>

### 玖、待研究的問題

未來想繼續研究關於『壹蜂幼蟲的捕食與獵物間關係』

1. 多隻壹蜂幼蟲在巢室內競爭食物的問題？
2. 壹蜂捕抓獵物數量多寡的問題？