

中華民國第 62 屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

國小組 生物科

第二名

080318

螞蟻的大鋼牙—探討多樣擬大頭家蟻

(*Pheidologeton diversus*) 的大顎構造與覓食  
和防衛行為的相關性

學校名稱：新北市泰山區同榮國民小學

作者： 小六 李柏賢 小六 周禹廷 小六 曾柄源	指導老師： 姜文斌
-----------------------------------	--------------

關鍵詞：多樣擬大頭家蟻、大顎、生物力學

# 摘要

為了瞭解校園中那些螞蟻具攻擊性及攻擊武器有何特別之處，本研究進行螞蟻族群與行為的調查並以顯微鏡觀察其結構。發現多樣擬大頭家蟻 (*Pheidologeton diversus*) 是校園中分布最廣且具攻擊性的螞蟻，牠無螫針和蟻酸，主要是以大顎進行覓食與防衛，而且工、兵蟻的大顎構造也不同，為了解其差異對力的產生有何影響，本研究以自製的力學測試裝置及大顎放大模型進行實驗，結果發現：兵蟻的大顎粗短，但有寬大的頭部，產生的閉合力為工蟻的 9 倍；而工蟻的弧形大顎細長，有較長且尖銳的顎齒，可產生較大的抓力，讓獵物不容易滑脫；另外兵蟻鏟形的大顎，能發揮力學上斜面的作用，可產生較大的切斷力。工蟻和兵蟻運用彼此構造的優勢，相互合作，能有效率地進行覓食與防衛。

## 壹、 前言

### 一、 研究動機

為了推展食農教育，學校在校園中設置了一畝農田，經過多年的栽種，土壤漸漸流失減少，為了恢復原來栽種環境，由其他地方運來土壤補充。然而，在 110 年 9 月稻米收成時，發現土壤裡出現兇猛的螞蟻，並叮咬協助的生態志工伯伯，後續經學務處老師採樣送交國家紅火蟻防治中心鑑定後，發現是危險的入侵紅火蟻 (*Solenopsis invicta*)，造成師生的恐慌。

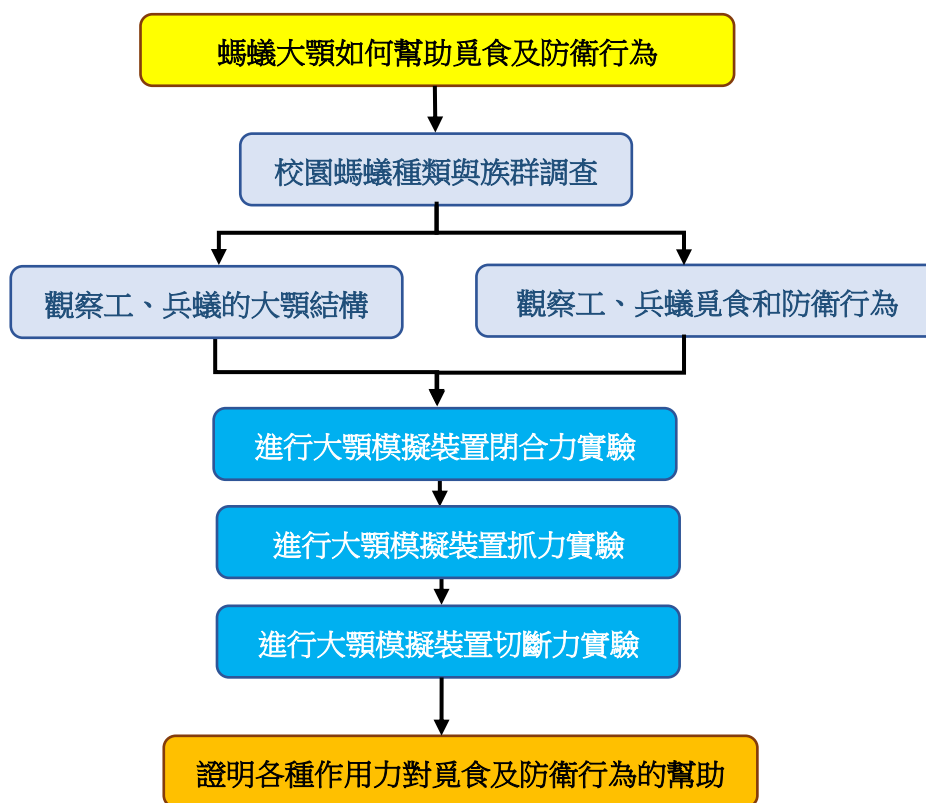
雖然後續在國家紅火蟻防治中心的協助下順利滅除，但從相關資料得知入侵紅火蟻的擴散力極強，有可能會擴散到校園其他地方，而且除了入侵紅火蟻外，也有其他種類的螞蟻具有攻擊性，這讓我們感到非常的驚訝與好奇—「校園中到底還有那些螞蟻具有攻擊性？牠們活動的區域在哪裡？牠們攻擊的武器有什麼特別之處？」，因此在自然老師的帶領下，我們進行校園中螞蟻族群的調查，並發現一種非常特殊的螞蟻—多樣擬大頭家蟻 (*Pheidologeton diversus*)，除了有工蟻之外，還有體型巨大的兵蟻，但牠們沒有蟻酸及螫針，只靠大顎就能進行覓食與防衛。為了了解牠們的大顎有什麼奇特的構造，讓牠們能產生這麼強大的破壞能力，可以咬斷巨大、堅硬的食物或敵人？於是我們進行了這個主題的研究。

### 二、 研究目的

依據上述動機，我們進行各項調查、實驗與分析，以完成下列研究目的：

- (一) 了解校園螞蟻種類與族群分布情形。
- (二) 比較多樣擬大頭家蟻工蟻和兵蟻的大顎結構差異。
- (三) 比較多樣擬大頭家蟻工蟻和兵蟻的覓食和防衛行為差異。
- (四) 研究螞蟻大顎各種作用力如何幫助覓食及防衛行為。

## 研究架構圖



### 三、 研究範圍與限制

本次研究的範圍僅以出現在學校戶外區域的螞蟻為主，室內空間部分，因易受人員干擾，不列入調查。另外由於螞蟻的體型非常小，無法直接測量螞蟻大顎進行覓食與防衛時反應的力量，因此本研究採用等比例放大模型進行實驗，所得原始數據再依放大倍率換算後進行比較。

### 四、 文獻探討

#### (一) 螞蟻

螞蟻是一種有社會性的昆蟲，屬於節肢動物門、昆蟲綱、膜翅目、蟻科。螞蟻的身體結構一般分為頭部、胸部及腹部等三部份。除了具有頭胸腹之外，尚具有前伸腹節(petiole)。依螞蟻種類之不同，前伸腹節又分一節或二節，這是螞蟻分類重要特徵。頭部常見的有呈圓形，卵圓形及長方形等。頭頂明顯，後方有明顯後頭緣。複眼一對位於頭部兩側。單眼三個。觸角膝狀由4~13節組成。柄節很長，鞭節末端呈棍棒狀。唇基發達為橫向三角形，上顎變化很大呈鐮刀形。

胸部的前胸背板和中胸背板發達，後胸背板圓凸常見齒或對刺。三對足均發達，前足脛節的端距特化為清潔器(cleaning comb)，跗節五節，末跗節有二個爪。

前伸腹節一般為一節，有些屬由二節組成。呈球狀或鱗片。有兩個前伸腹節者，前面的稱前腹柄節，一般較小；後面的稱為後腹柄節，一般較寬大。在前伸腹節上有斑紋或長毛等。(林宗岐、鍾富雅，2012)

#### (二) 在生物力學上以螞蟻為研究對象的相關研究

1999 年德國學者 JÜRGEN 和 WULFILA 針對紅足巨山蟻(*Camponotus rufipes*)兵蟻大顎肌肉纖維附著於頭囊的方式，探討其如何影響大顎閉合的力量與速度。其研究有以下發現 (JÜRGEN & WULFILA, 1999)：

1. 螞蟻大顎肌肉由兩個肌肉纖維亞群組成：用於快速動作的快速肌肉纖維和用於強力咬合的慢肌肉纖維。所有這些纖維都附著在堅固而複雜的頂端，該頂端將力傳遞到大顎基部。快速肌肉纖維直接附著在頂端。慢速肌肉纖維可以直接附著或以單個細絲插入到不同角度的頭囊中。
2. 專門用於快速大顎運動的螞蟻通常具有長頭，其中包含長的快速肌肉纖維，以小角度附著在頭囊頂端。它們的肌肉僅由少數細絲附著的纖維組成，並且它們以犧牲力輸出為代價，來最大化動作速度。
3. 螞蟻執行特別有力的大顎運動，如種子開裂，依賴於寬頭囊中包含的許多短平行肌肉纖維。它們較慢的肌肉含有很大比例的細絲附著纖維。兩個簡單的模型（圖 1、2）解釋了如何優化連接角以增加力的輸出。

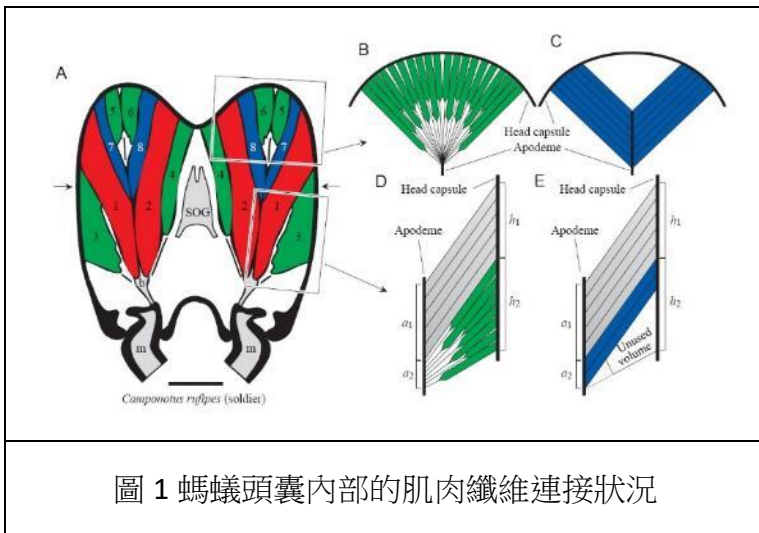


圖 1 螞蟻頭囊內部的肌肉纖維連接狀況

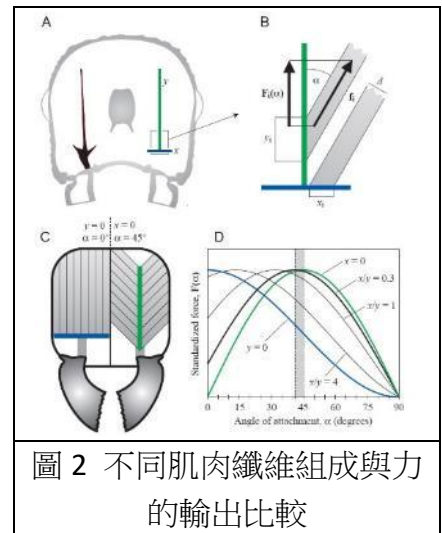


圖 2 不同肌肉纖維組成與力的輸出比較

資料來源：JÜRGEN, P. & WULFILA, G. (1999)

2022 年美國學者 Julian Katzke 利用斷層掃描影像分析技術，重建小黃家蟻 (*monomorium pharaonis*) 頭囊內部肌肉纖維的路線圖，從頭部 X、Y、Z 軸切片圖中（圖 3），可看出肌肉纖維分布狀況（紅色線與點）與力產生方向（綠色箭頭方向）的相關性。所有數值經 3D 體積渲染後繪製為立體圖（圖 4），可看出肌肉纖維佔據了左半部大部分空間。（Julian et al., 2022）

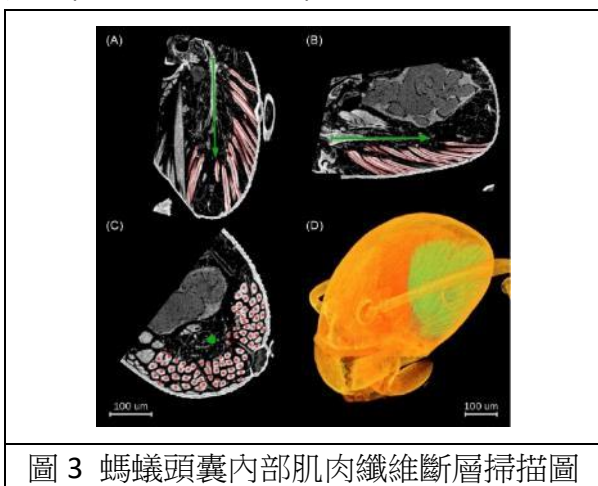


圖 3 螞蟻頭囊內部肌肉纖維斷層掃描圖

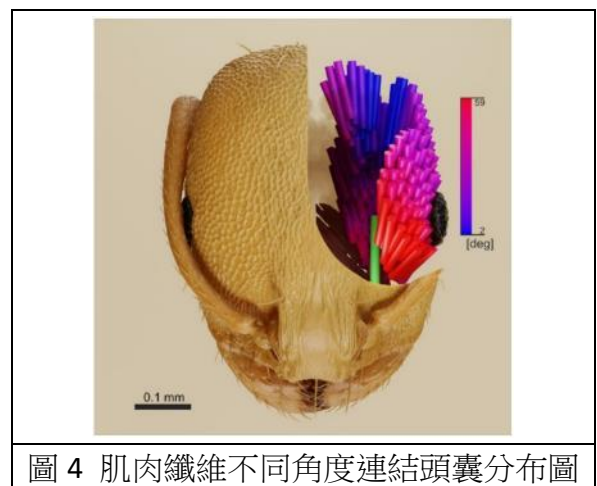


圖 4 肌肉纖維不同角度連結頭囊分布圖

資料來源：Julian et al., (2022)

由上述兩篇研究中發現：大顎的閉合與施力受到螞蟻頭囊內部不同肌肉纖維的控制，且肌肉纖維的排列方式與數量，也會影響大顎開合力量的大小，而肌肉纖維的排列方式與數量則受到頭囊形狀與長短的影響。因此本研究將詳細觀察螞蟻頭部，並依其結構設計力學測試裝置，以了解其間的作用現象與原理。

### （三） 歷屆科展相關研究成果分析

歷屆全國科展中有不少以螞蟻為研究對象的作品，為了解這些作品中探究主題與研究成果之間的差異，選擇近 10 年內國中、小相關作品共 6 件，列表（表 1）進行比較分析，以從中獲得本研究所需要的專業知識，並了解尚未深入研究的範圍。

表 1 歷屆全國科展作品與螞蟻相關研究比較表

屆別	組別	作品名稱	探究主題與研究成果
54	國中	亞洲行軍蟻—熱帶大頭家蟻軍團	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 兵蟻及工蟻體型相差很多，在大顎結構與蟻酸有所不同。</li> <li>2. 工蟻群組行動進行獵食行為</li> <li>3. 不具有對抗入侵紅火蟻的能力。</li> </ol>
55	國中	百「絲」莫解—黑棘蟻 ( <i>Polyrhachis dives</i> ) 蟻絲蛋白探秘	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 黑棘蟻幼蟲吐出的絲具有抗菌和防黴菌的效果</li> <li>2. 在有光的環境生長，能增加蟻絲生產量。</li> <li>3. 蟻絲膜具有通透性、雙面性、拒水性、不織布性、抗菌性及保溫性，可深入探探討運用在未來生活中。</li> </ol>
56	國小	蟻國風雲—破壞單家蟻 ( <i>Monomorium destructor</i> ) 超級聚落之研究	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 探討校園破壞單家蟻是否形成超級聚落</li> <li>2. 同種的螞蟻，只要不同巢就會打架。</li> <li>3. 將攻擊激烈程度、共域取食衝突情形與入口敵我辨識情形代入公式進行比較 分析，可了解是否形成超級聚落或獨立聚落。</li> </ol>
57	國小	螞蟻築橋真神奇	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 觀察小黃家蟻的身體構造來探索和運動築橋功能的相關性。</li> <li>2. 探討覓食、搬運食物的社會化行為。</li> <li>3. 探討怎樣築橋跨越空隙。</li> </ol>
58	國小	瘋狂蟻別鬧了一長腳捷蟻 ( <i>Anoplolepis longipesngipes</i> ) 生態與防治之研究	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 探討長腳捷蟻的生態，包含食性、棲息環境、攻擊行為和搭蟻橋現象等。</li> <li>2. 探討與蚜蟲的共生現象</li> <li>3. 探討長腳捷蟻的防治方法</li> </ol>
60	國小	全力蟻赴	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 探討螞蟻喜愛的食物，長角黃山蟻喜歡肉鬆，黑頭慌蟻喜歡棒棒糖。</li> <li>2. 探討長角黃山蟻搬運食物的行為</li> <li>3. 探討長角黃山蟻如何將食物搬進不同形狀的洞口。</li> </ol>

由上表分析結果可知，目前已完成的研究成果主要有以下幾項：

1. 螞蟻的食性、覓食行為、螞蟻的棲息環境及非生物性因子探討。
2. 螞蟻的防禦行為與組成超級聚落的影響因子。
3. 螞蟻克服環境限制的有趣現象，如搭蟻橋、搬運食物回巢穴的策略。

有關本研究所提問題—「螞蟻頭部與大顎到底有什麼奇特的構造，能讓他們產生這麼強大的破壞能力？」目前尚無相關主題之研究，因此本研究將從比較生物力學的範疇，深入探究產生這項破壞力的相關因子，並設計實驗進行驗證，以找到問題的答案，化解我們的疑惑。



## 貳、 研究設備及器材

- 一、採集工具：二氧化碳氣瓶組、試管、棉花棒、毛刷、手套、螞蟻觀察盒、含糖、鈉的餅乾、細竹籤。
- 二、觀察工具：複式顯微鏡、實體顯微鏡、攝影機、培養皿、解剖工具組、尺。
- 三、模型實驗材料及工具：塑鋼土、木棍、金屬門門插孔、牛眼釘、棉繩、電動切磨機、骨架積木、長尾夾、砝碼、彈簧秤、電子秤、保麗龍板、義大利麵條。

## 參、 研究過程方法、結果與討論

### 一、 調查校園中螞蟻種類與族群分布情形

#### (一) 調查過程與方法

##### 1. 調查和採集的天候、時間與範圍：

- (1) 天候、時間：選擇溫度攝氏 17 度以上，沒有下雨的下午 13 時至 16 時進行調查和採集。
- (2) 範圍：排除建築物內部空間及入侵紅火蟻防治圈圍區（水稻田），在校園內各區域室外環境中進行調查和採集，包含後山農場、生態步道、蝴蝶園、操場四周及通學步道花圃。(圖 5)



圖 5 學校生態環境地圖

##### 2. 螞蟻採集方法與採集數量：

- (1) 食物誘捕法：我們在校園各區域發現螞蟻活動蹤跡後，先於蟻道上放置含糖及含鈉餅乾，待螞蟻停留後再以試管罩住要採集的螞蟻，等待螞蟻爬上試管後，再以棉花堵住管口。(圖 6、7)
- (2) 二氧化碳昏迷法：若要採集的螞蟻一段時間後仍未爬上試管，則會使用二氧化碳氣瓶對瓶口噴氣，待螞蟻行動力減弱後，再以棉花棒及水彩筆將螞蟻移入試管中。(圖 8、9)
- (3) 考量不影響採集區域內螞蟻族群繁衍，採集的數量為 3 隻。



圖 6 尋找各區域螞蟻活動地點



圖 7 放置含糖及含鈉餅乾當誘餌



圖 8 以二氧化碳讓螞蟻昏迷



圖 9 昏迷後以棉花棒採集放入試管

### 3. 螞蟻身體構造觀察和螞蟻鑑定：

- (1) 先以二氧化碳麻醉試管中採集到螞蟻，待螞蟻活動力減弱後，將其移入觀察盤中。
- (2) 使用解剖顯微鏡及複式顯微鏡進行螞蟻各部位觀察和記錄（圖 10、11）。



圖 10 將螞蟻樣本固定



圖 11 拍攝各部位結構

- (3) 查閱圖鑑及資料，進行螞蟻鑑定，若有無法判別者，詢問老師及專家。

### 4. 繪製校園螞蟻族群分布圖：

- (1) 完成學校各區域螞蟻調查與採集後，我們將發現螞蟻的位置，在學校地圖中進行標記。
- (2) 標記方式則依據種類不同，以不同顏色標示；依據各地點螞蟻在巢穴外的活動數量多寡，以大、中、小圓形標記，1~5 隻→小圓、6~10 隻→中圓、11 隻以上→大圓。



## (二) 調查結果

### 1. 校園中的螞蟻種類

我們採集到的螞蟻樣本在經過顯微鏡觀察、圖鑑查閱及專家詢問後，一共發現了以下 9 種不同種類的螞蟻，有關這 9 種螞蟻的身體特徵、活動地點與棲地特性，以下分別說明。


- (1) 多樣擬大頭家蟻 (*Pheidologeton diversus*) → 擬大頭家蟻屬  
*Pheidologeton*

外形	身體特徵
----	------

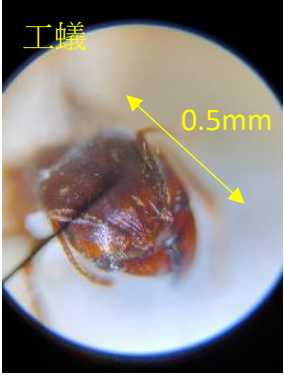
	<p>工蟻體長 2.4~ 2.6mm，多態兵蟻體長 3.5~12.5mm。表面光滑無明顯刻紋，大顎亞三角型，有顎齒。觸角 11 節，錘節 2 節。複眼大而明顯，由數十個小眼組成。前伸腹節刺明顯針刺狀，腹柄節成三角型，柄部明顯向後延伸膨大。腹錘背板光滑無刻紋，著生長針狀體毛與稀疏短絲狀毛。體軀單色褐色，無螫針與蟻酸。為單蟻后型但具職蟻多態型，具明顯小工蟻與多型不同大小的兵蟻的螞蟻種類。</p>
	

發現地點	棲地特性
駝鳥園旁走道	落葉很多，有石頭，有少許細沙，有點潮濕。
瓜棚區	落葉更多，有些翠綠的植物，枯葉偏多，少許碎石，土壤偏少。
羊舍下方	細沙偏多，有羊大便，地上殘留著少許牧草，少許很小的碎石。
陽光草坪	細沙偏多，土壤因那有綠植公友伯伯會去那澆水，所以偏潮濕，綠植很多。
後山廣場旁桑樹下	落葉很多，碎石也很多，有少許的大石頭，偏乾燥。
後棟教室駁坎下	有石頭堆的高牆，石頭階梯，上面有青苔。螞蟻都躲在縫縫內。
操場西邊駁坎下	磚頭地，日照充足.很乾燥。
操場西邊三角花圃	落葉很多，外圍用假竹子把它圍住.土壤偏乾燥，地板是用石頭圍的。


(2) 熱帶大頭家蟻 (*Pheidole megacephala*) → 大頭家蟻屬 *Pheidole*

外形	身體特徵
	<p>工蟻體長 2~4mm，兵蟻體長 5~6mm。小工蟻之觸角第一節遠長過頭部頂端，被覆有許多的長毛。身體前端無刺，身體後方有兩根非常小且幾乎垂直朝上的刺。身體後方及頭部側面有許多的點刻，但其餘之身體部份則平滑有光澤。整個身體被覆有稀疏之長毛。第二腰節明顯腫脹。顏色從淺黃色到深褐色皆有，有螫針與蟻酸。小型螞蟻，原產於非洲南部，現已分</p>



	<p>布於全球溫、熱帶地區。因為食種子及植物，為重要的農業害蟲之一；此外，其會攻擊動物，對原生物種會造成危害。而其在城市亦會啃咬電線、管線等，對居住環境也有影響。</p>
發現地點	棲地特性
後棟教室前花圃	很多綠植，土壤潮濕，有大石頭在地上圍起來，是用磚頭蓋的小矮牆，土壤在這個矮牆裡。


(3) 小黃家蟻 (*Monomorium pharaonis*) → 家蟻屬 *Monomorium*

外形	身體特徵
	<p>小型螞蟻，工蟻體長 1.5~2mm，無兵蟻。頭型卵圓型、橢圓型或略呈矩型。後頭無凹陷，後頭隆線平順無隆起。無觸角溝。觸角 12 節，錘節 3 節。無單眼，複眼大而明鮮，由 10 個以上小眼所組成，位於頭蓋中線中側。大顎呈亞三角型。全身呈淺黃色，有螫針與蟻酸。</p>
發現地點	棲地特性
雞舍旁樹下	乾燥，石子和泥土很多土很多。

(4) 長腳捷蟻 (*Anoplolepis gracilipes*) → 捷山蟻屬 *Anoplolepis*

外形	身體特徵
	<p>中型螞蟻，工蟻體長 5~7mm，無兵蟻。腿部與觸鬚特別長，身體細長，身體呈橘褐色，錘腹通常比頭與胸顏色更深。有螫針與蟻酸，可藉由噴灑蟻酸，制服或者殺死無脊椎獵物或小型脊椎動物，但不會主動叮咬人。</p>
發現地點	棲地特性
後側門旁花圃	水泥矮牆，上面很多青苔，很潮濕，落葉也挺多，有些細沙。


(5) 黑頭慌蟻 (*Tapinoma melanocephalum*) → 慌琉璃蟻屬 *Tapinoma*

外形		身體特徵
		<p>小型螞蟻，工蟻體長 1.3~2mm，無兵蟻。身體呈黃褐色，頭部呈黑色。頭型心型，後頭微凹，後頭隆線無明顯隆起，複眼大位於頭蓋中側。觸角 12 節，無明顯錘節形成，無後腹柄節。大顎呈三角型或亞三角型。螫針退化，有蟻酸，會主動叮咬人畜。</p>
發現地點	棲地特性	
後棟教室前花圃	土壤較濕潤，有一些小植物，表面有細孔。	
後山步道斜坡	表面很乾燥，有一些裂縫。	
前棟教室後花圃 竹林下及牆壁	有一些雜草，土壤較濕潤，磚頭有縫縫，外界干擾較大。	
蝴蝶園花圃	空氣空氣很潮濕，生態多樣有大型植物，磚頭有縫縫。	
職務宿舍旁花圃	空氣較乾燥，種了很多花花草草，也有落葉堆。	

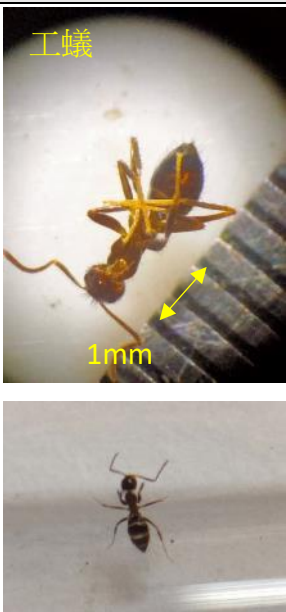
(6) 懸巢舉尾蟻 (*Crematogaster rogenhoferi*) → 舉尾家蟻屬 *Crematogaster*

外形		身體特徵
		<p>中型螞蟻，工蟻體長 3~4mm，無兵蟻，有大型工蟻。頭型略呈圓型。頭部明顯細直條狀刻紋，觸角 11 節，錘節 3 節。複眼呈橢圓型，大而明顯，約由數十個小眼組成。前伸腹節刺明顯較長，長於基部的 2 倍，末端微微向下彎曲。腹柄節扁平化，呈盾型，中側緣略外突。頭部、中軀部及腹柄部呈深偏紅橙色或深紅，腹錘部呈暗褐色或褐色。有螫針和蟻酸，地域性強，如遭受侵擾會螫咬攻擊。</p>
發現地點	棲地特性	
司令台階梯前 花圃	築巢在樹上，會在樹木底下落葉區及乾燥的地面活動。	
司令台階梯後 側牆壁	沿著階梯牆壁裂縫爬行，牆壁旁有一排大葉欖仁樹。	

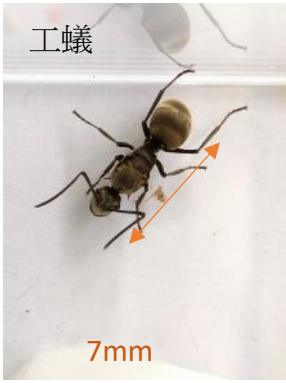
(7) 長角立毛蟻 (*Paratrechina longicornis*) → 黃山蟻屬 *Paratrechina*

外形		身體特徵
		<p>中型螞蟻，工蟻體長 2.3~3mm，無兵蟻，為多蟻后型態。全身皆呈光亮的黑色，體背有不明顯的藍斑具光澤，六隻腳及觸角細長，行動敏捷快速。有螫針和蟻酸。</p>
發現地點	棲地特性	
後棟教室前花圃	土壤濕潤且有許多孔洞。	
前棟教室後花圃竹林下及牆壁	於花圃旁砂土及牆壁爬行，土壤較濕潤。	

(8) 阿美黃山蟻 (*Paratrechina amia*) → 黃山蟻屬 *Paratrechina*

外形		身體特徵
		<p>中型螞蟻，工蟻體長 3.2~3.4mm，無兵蟻，全身佈滿立毛，全身呈黑褐色。飽食後腹節會明顯撐開，變成胖胖的肚子，體長最多會增加 0.2mm。群落大小約數百至上千工蟻左右。有螫針和蟻酸。</p>
發現地點	棲地特性	
前棟教室後花圃竹林下及牆壁	有一些雜草，土壤較濕潤，磚頭有縫縫，外界干擾較大。	

(9) 黑棘蟻 (*Polyrhachis dives*) → 棘山蟻屬 *Polyrhachis*

外形		身體特徵
		中型螞蟻，工蟻體長 7mm，無兵蟻，體色黑色、灰黑色微弱的絲緞光澤，前胸背板前緣有 2 根長棘刺、中胸後緣有 2 根較短的棘刺，後胸有 2 長 2 短的棘刺，前後總有 8 根棘刺。無螫針但有蟻酸，領域性強，受到騷擾時工蟻觸角會上揚，腹部上舉或以蟻酸攻擊敵人，但通常不會造成人類大傷害。
發現地點	棲地特性	
視聽中心旁沙地	乾燥，乾草、碎石及細沙土很多。	

2. 校園螞蟻族群分布圖

根據調查結果，以不同顏色標示螞蟻種類，不同大小圓形標記各地點螞蟻在巢穴外的活動數量多寡（如表 2、3 所示），繪製成我們學校的校園螞蟻族群分布圖。（圖 12）

表 2 螞蟻種類顏色標記

種類名稱	標示顏色	種類名稱	標示顏色
多樣擬大頭家蟻	●	懸巢舉尾蟻	●
熱帶大頭家蟻	●	長角立毛蟻	●
小黃家蟻	●	阿美黃山蟻	●
長腳捷蟻	●	黑棘蟻	●
黑頭慌蟻	●		

表 3 螞蟻數量標記

發現數量	1~10 隻	10~50 隻	50 隻以上
圓形大小	○	○	○



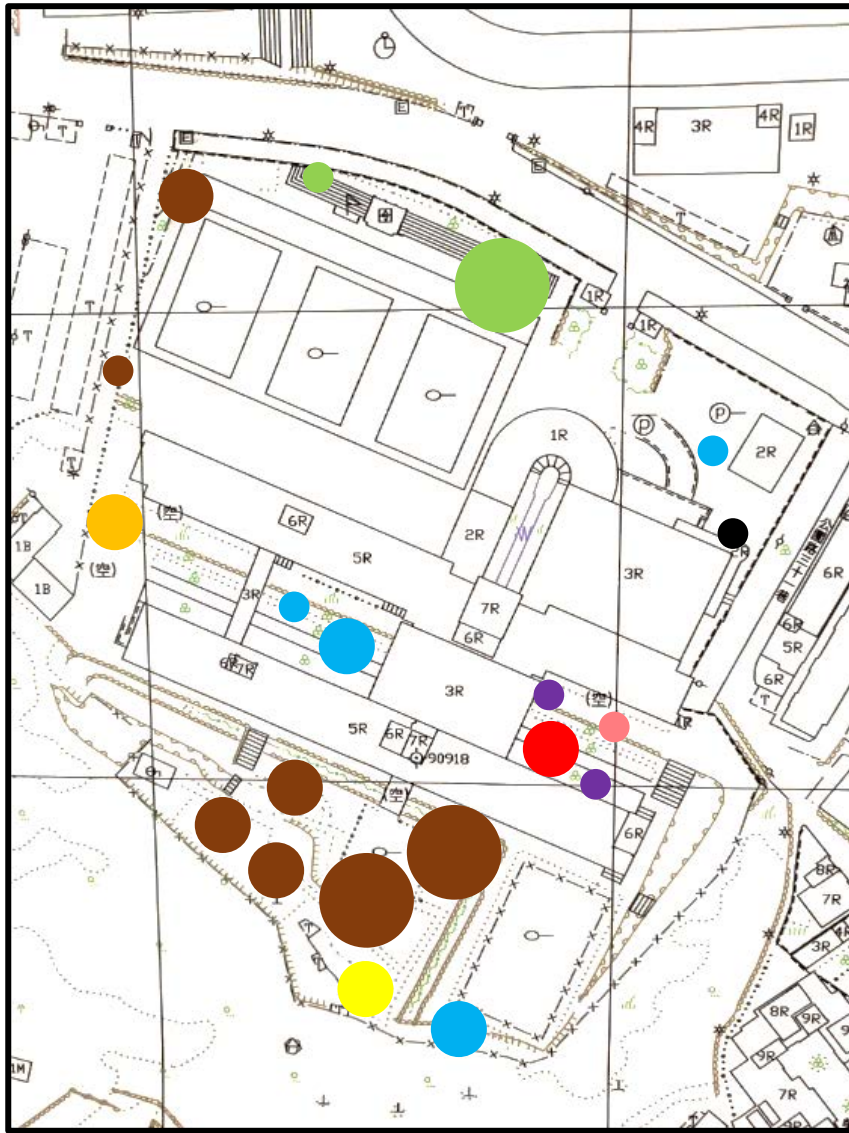


圖 12 校園螞蟻族群分布圖

### (三) 討論

由校園中螞蟻族群分布情形調查結果發現，校園中並未再發現入侵紅火蟻的蹤跡，這是我們所慶幸的，但仍有部分種類的螞蟻具有螫針、蟻酸與集體攻擊入侵者的特性，對於在校園中進行各項戶外活動的學生，仍具有危險性，因此我們也建議學校在牠們活動的區域張貼警告標語，以避免學生被螫咬。

另外我們也發現校園中族群分布最廣和數量最多的螞蟻是多樣擬大頭家蟻（圖 13），雖然牠對人類不具有入侵紅火蟻的危險性，而且無螫針及蟻酸，但在樣本採集過程中，我們曾被牠咬過多次，被咬的地方雖無過敏反應，但也有紅腫破皮的狀況，而且牠的工蟻和兵蟻體型差距較大，但彼此卻能相互合作一起覓食與防衛入侵者，非常值得深入研究。因此後續我們將以多樣擬大頭家蟻為研究對象，研究牠的工蟻和兵蟻之間除了身體大小不同之外，牠們的頭部大顎構造有何不同，以及牠們協力覓食與防衛的有趣行為。

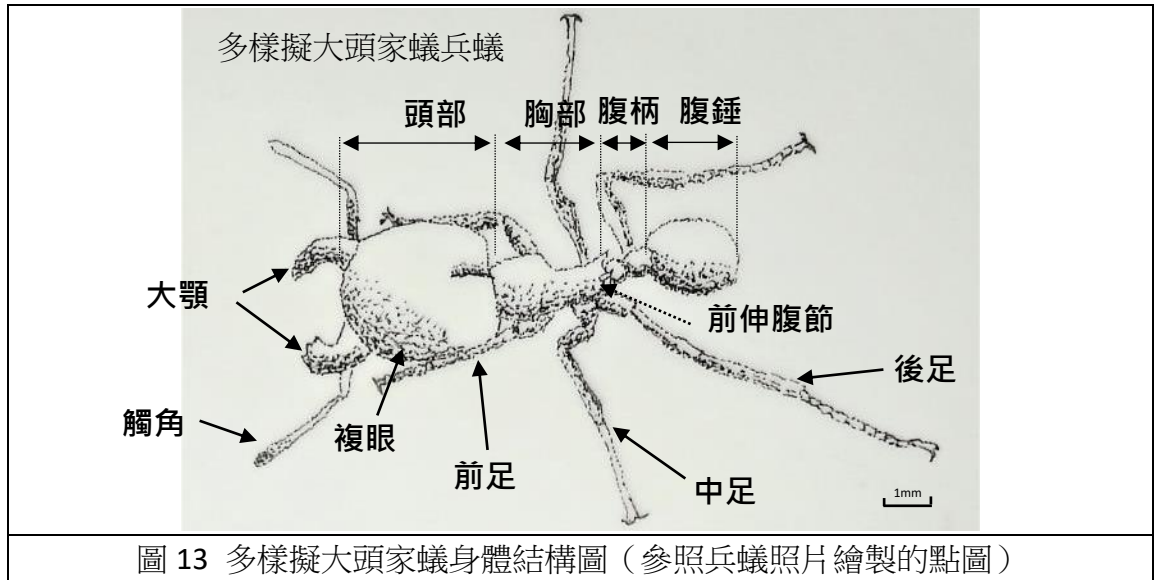


圖 13 多様擬大頭家蟻身體結構圖（參照兵蟻照片繪製的點圖）

## 二、比較多様擬大頭家蟻工蟻和兵蟻的大顎結構差異

### （一）觀察過程及方法

#### 1. 使用解剖顯微鏡進行大顎構造觀察

- （1）選擇已死亡的工蟻和兵蟻樣本，放置於解剖顯微鏡載物板，並於放置處以滴管滴水固定螞蟻樣本，以避免震動或風吹移動螞蟻樣本。
- （2）利用解剖工具翻動頭部大顎及腹部，以拍攝上視、下視及側視各角度結構。（圖 14）
- （3）利用圖片軟體檢視拍攝影像，分析工蟻和兵蟻大顎結構之差異。（圖 15）

#### 2. 解剖多様擬大頭家蟻兵蟻頭部進行細部觀察

- （1）選擇已死亡的兵蟻樣本，放置於解剖顯微鏡載物板，並於放置處以滴管滴水固定樣本，以避免震動或於解剖時彈開。
- （2）利用彎頭鑷子、尖頭解剖刀，切開多様擬大頭家蟻兵蟻頭部，以觀察及拍攝大顎細部構造及連結的肌肉纖維組織。
- （3）利用圖片軟體檢視拍攝影像，分析大顎細部構造及連結的肌肉纖維組織，並了解大顎開合如何動作。



圖 14 利用解剖工具切開頭部

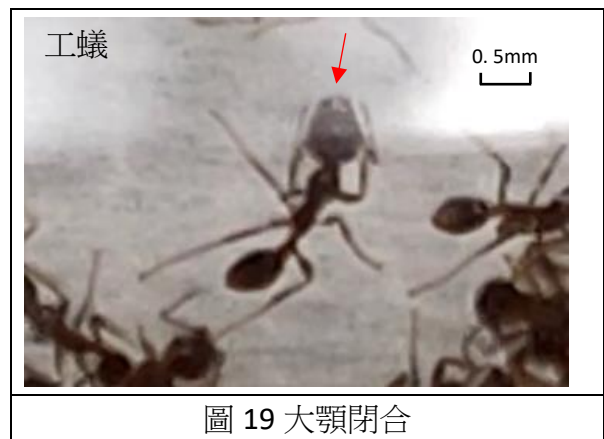
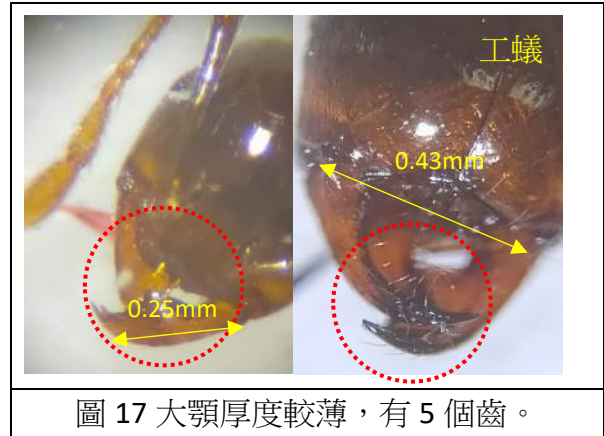
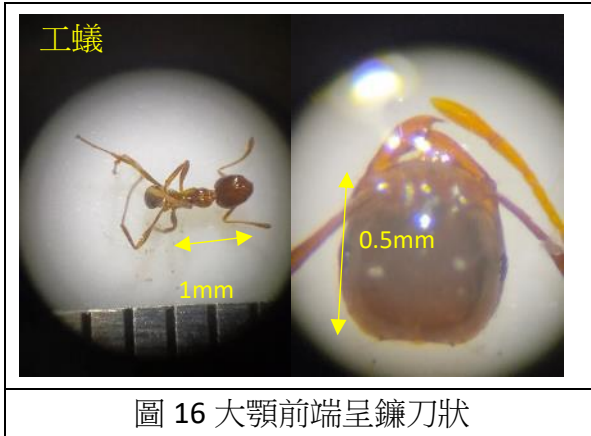


圖 15 利用軟體測量大顎結構

## (二) 觀察結果

### 1. 工蟻和兵蟻的大顎結構差異

(1) 工蟻的大顎結構：頭部大小約 0.5mm，大顎長度約 0.1~0.2mm。大顎前端呈鑷刀狀，厚度較薄（圖 16），並有 5 個齒，前 2 齒明顯前突尖銳，後 3 齒突狀較小（圖 17）。進行覓食或防衛行為時，會張開到最大（圖 18），待咬住食物或入侵者後，大顎會閉合（圖 19）。



(2) 兵蟻的大顎結構：頭部大小約 4.5mm，大顎長度約 1.0~1.5mm。大顎前端呈斜口鉗狀並彎曲為鏟形結構，厚度較厚（圖 20），5 個齒較不明顯，但大顎末端前突尖銳，（圖 21）。進行覓食或防衛行為時，會張開到最大（圖 22），待要咬切食物或入侵者時，大顎會扣合交叉（圖 23）。

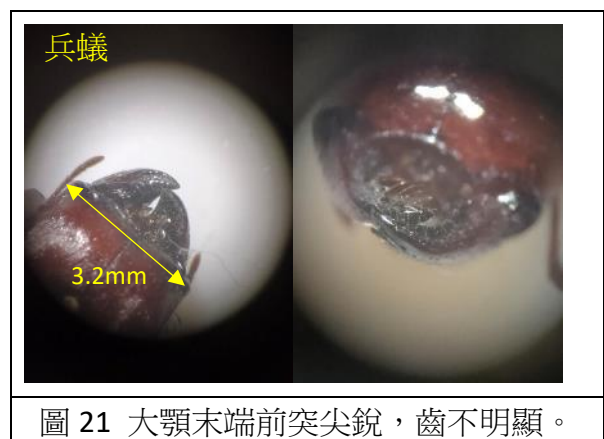
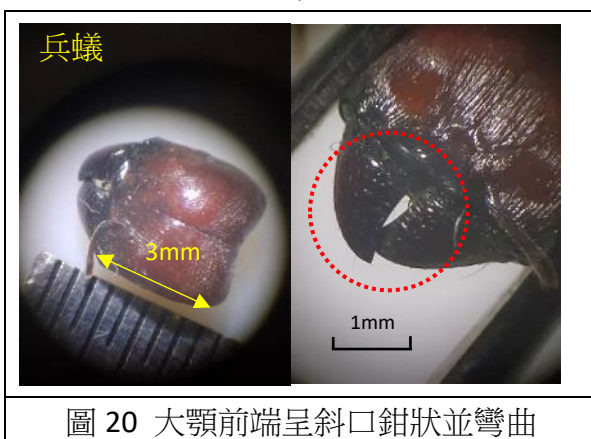






圖 22 大顎張開



圖 23 大顎閉合

## 2. 兵蟻的頭部細部觀察

(1) 肌肉纖維組織：以解剖刀切開頭部後，發現頭囊內部充滿肌肉纖維，以不同長度，從大顎基部直接附著頭囊各區域，或以單個細絲插入到頭囊最頂端中（圖 24），可以藉由肌肉纖維不同連接角度的收縮施力，來拉動大顎，而兵蟻的頭部較工蟻明顯大且寬，因此肌肉纖維量明顯高於工蟻。



圖 24 頭部內的肌肉纖維組織結構

(2) 大顎關節結構：將肌肉纖維切除後，觀察大顎細部結構，可發現大顎基部粗大，可容納較多的肌肉纖維。另外我們也發現基部外有 3 個突起關節（圖 25、26），中間的突起較高，整體看起來很像人類骨頭關節處的結構。另外頭部包住大顎的地方成 U 形，剛好卡住大顎基部（圖 27、28），將大顎轉動時，可以發現頭部與大顎開合的運作原理。

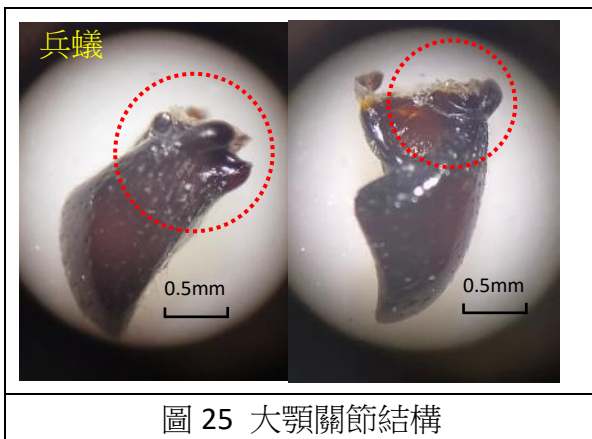


圖 25 大顎關節結構

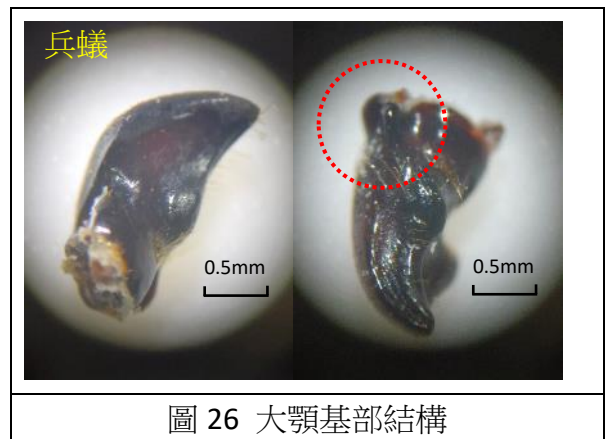


圖 26 大顎基部結構



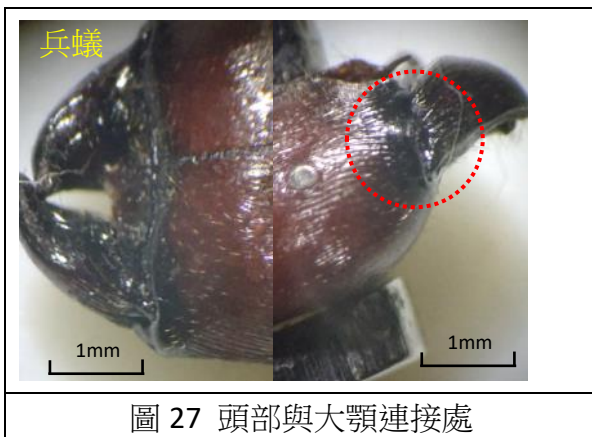


圖 27 頭部與大顎連接處

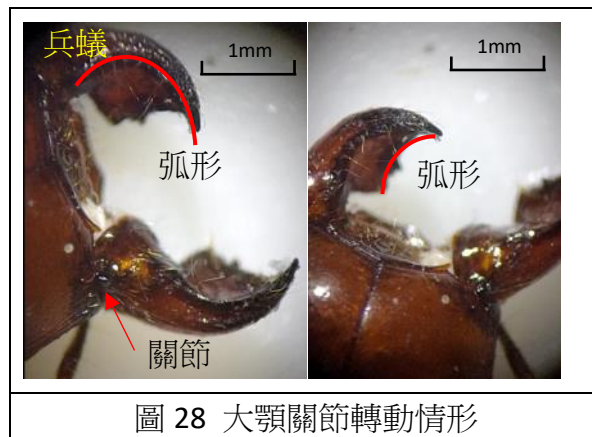


圖 28 大顎關節轉動情形

### (三) 討論

由大顎結構的觀察結果中，我們發現雖然工蟻和兵蟻的大顎外形雖然很像，但還是有結構上的差異。工蟻的大顎較小且較薄，像一把帶有鋸齒和尖刺的夾子；但兵蟻的大顎巨大且粗厚，整體結構像一把堅固的斜口鉗，可以切斷堅硬物體。

另外工蟻的大顎上有較長且尖銳的顎齒，具穿刺功能；而兵蟻大顎的齒突起不明顯，形狀較為平整，有助於切斷物體。還有牠們彎曲狀的大顎，可以縮短大顎的直線長度，增加夾合及切斷的面積。

還有大顎與頭部的關節結合方式，很像人類的骨頭與關節，可以運用槓桿原理來進行施力，只要利用頭囊內部肌肉纖維的收縮與舒張，就可控制大顎的開合，實在是非常巧妙的生物力學結構，這和文獻探討中所提到的兩篇研究發現相同，肌肉纖維的數量與長短，可以讓螞蟻咬合的力量與速度產生不同的變化。

(JÜRGEN & WULFILA, 1999; Julian et al., 2022)

為了瞭解工蟻和兵蟻大顎結構對於牠們生存的重要性，後續我們將針對牠們覓食與防衛行為進行觀察，並製作大顎模型及力學測試裝置進行實驗，以了解這些作用力如何幫助他們進行覓食與防衛。

## 三、 比較多樣擬大頭家蟻工蟻和兵蟻的覓食與防衛行為差異

### (一) 觀察過程及方法

#### 1. 工蟻和兵蟻覓食行為比較

- (1) 我們在覓食行為觀察盒中放入他們喜歡吃的含糖、鈉較高的餅乾，並將它放置在多樣擬大頭家蟻的蟻穴進出入口附近，引誘牠們進入並覓食。(圖 29~32)
- (2) 2 小時後以攝影機拍攝他們覓食的行為。
- (3) 進行影像分析，觀察工蟻和兵蟻在覓食行為上的差異。

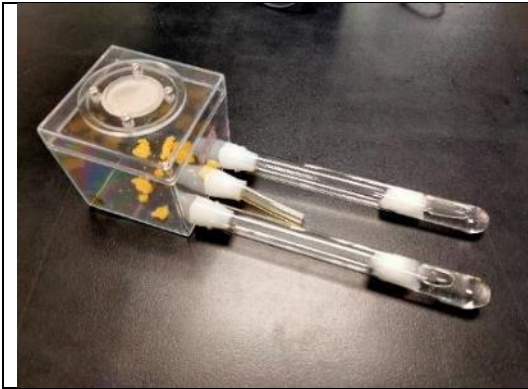


圖 29 螞蟻行為觀察盒



圖 30 放置於各調查區誘捕



圖 31 放置於各調查區誘捕



圖 32 放置於各調查區誘捕

## 2. 工蟻和兵蟻防衛行為比較

- (1) 我們在多樣擬大頭家蟻的蟻穴進出入口附近，放置障礙物侵入蟻道，並以細竹籤輕輕碰觸附近的蟻群（圖 33、34）。
- (2) 觀察蟻群受到侵擾後產生的防衛行為。



圖 33 於蟻穴出口設置障礙物



圖 34 用細竹籤碰觸蟻穴出口

## (二) 觀察結果

1. 我們發現工蟻覓食時，如果食物較鬆軟潮濕，會以口器直接吸食，若為較硬的食物，則使用大顎將其切成小塊，再獨立或和少數螞蟻搬運。
2. 如果遇到比較大且重的食物時，會通知附近或巢穴中體型較大的兵蟻前來幫忙，協助將食物切成較小、較輕的部分，再由工蟻合力幫運，或者由兵蟻將較重的食物搬回。（圖 35、37）
3. 當蟻群遭受攻擊時，會先由數量較多的工蟻以大顎咬住入侵者，以攻擊者為中心，同時多向後拉，讓攻擊者無法移動反擊，再由兵蟻以大顎咬斷入侵者的身體或其他脆弱部位，直到入侵者逃離或死亡。（圖 36、38）





圖 35 工、兵蟻覓食情形

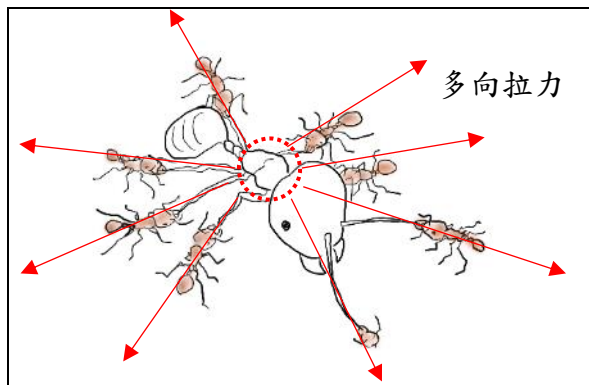


圖 36 工蟻合力咬住入侵者



圖 37 工、兵蟻合力覓食情形

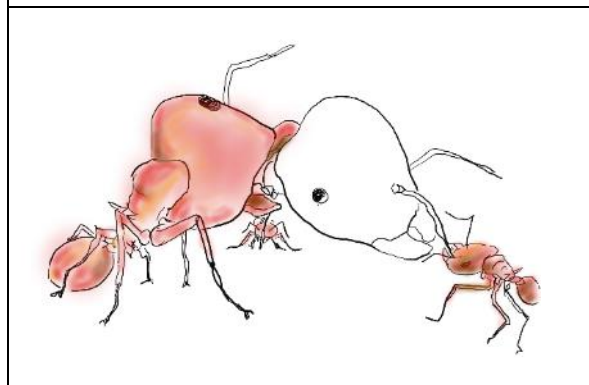


圖 38 兵蟻咬斷入侵者

### (三) 討論

我們發現多樣擬大頭家蟻腹部雖然沒有螫針和蟻酸，可以用來幫助覓食及防衛敵人，但藉由工蟻和兵蟻不同的身體結構與任務分配，可以合力搬運較大的食物，並防衛外來的入侵者，這真是非常巧妙的團隊合作關係。以下我們將針對工蟻和兵蟻如何使用大顎咬住或切斷食物或入侵者，設計模擬裝置進行實驗，以了解這其中的奧秘。

## 四、研究螞蟻大顎各種作用力如何幫助覓食及防衛行為

根據多樣擬大頭家蟻覓食與防衛行為的觀察結果，發現工蟻和兵蟻大顎會以不同的施力方式來搬運食物或對物體進行破壞，因此本研究將根據力的功能，將其分為以下三種作用力，分別為「閉合力」—物體放置於大顎內由顎弧不同抗力點到關節間不同遠近、高低所產生的力量；「抓力」—螞蟻在抓住脫逃的物體時，藉由不同數量的大顎顎齒產生摩擦接觸面而將物體卡住的力量；「切斷力」—螞蟻要將巨大的食物切斷或將敵人的身體支解時，利用左右大顎鑷型結構扣合交叉時所產生的力量。

另外為了測量出這些作用力的變化，本研究根據螞蟻大顎的結構及活動狀況，並參考自然課簡單機械實驗裝置的結構，以積木、滑輪、固定夾等器具搭建可測量相關作用力的力學測試裝置（圖 43、44、49、50），分別進行大顎閉合力、抓力及切斷力的實驗。

### (一) 研究過程及方法

#### 1. 進行工、兵蟻大顎閉合力實驗

- (1) 根據解剖顯微鏡測量多樣擬大頭家蟻兵蟻和工蟻大顎尺寸及構造，以堅硬度較接近的材料—塑鋼土，依照比例捏塑兩組放大的大顎模型（工蟻 500 倍、兵蟻 100 倍），讓工蟻及兵蟻大顎模型的長度均為 12.5cm，以比較工、兵蟻在大顎形狀及結構的差異下，會對閉合力產生什麼影

響，並根據頭部及大顎長度比例組裝於不同施力長度的木桿上（圖 39 ~42）。

- (2) 將金屬門栓孔固定於大顎模型上，模擬大顎關節處（圖 41、42）。
- (3) 根據頭部比例於木桿尾部裝上金屬溝並綁上 200 克砝碼，以模擬拉動大顎的施力點及施力。
- (4) 利用積木製作實驗基座，並將兩組大顎模型安裝於基座上，模擬裝置圖所示。（圖 43、44）
- (5) 以棉線量出兩組大顎模型的顎弧長度，將其等分為 5 個抗力點，並利用拉線法測量各抗力點至關節中心的立體直線及水平直線長度。
- (6) 以棉線綁上彈簧秤，分別固定於 5 個抗力點進行抗力測量。
- (7) 每個抗力點重複 5 次操作並記錄抗力大小。



圖 39 依照大顎形狀打磨測試模型



圖 40 依照大顎形狀打磨測試模型

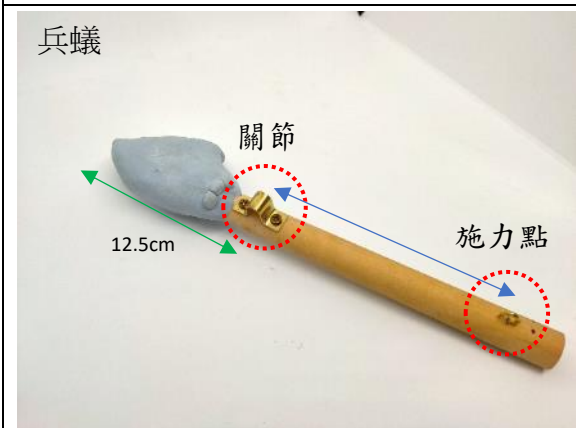


圖 41 完成的兵蟻大顎模型

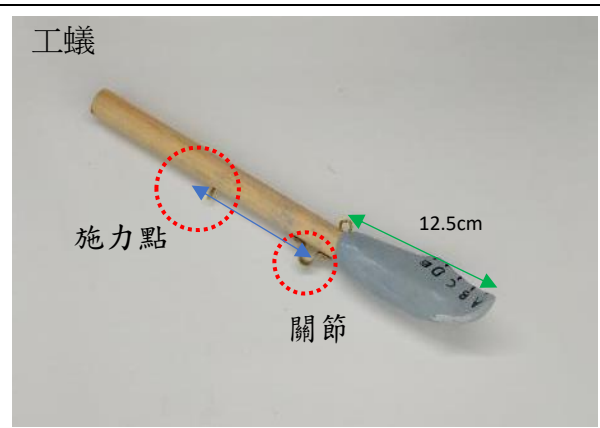


圖 42 完成的工蟻大顎模型

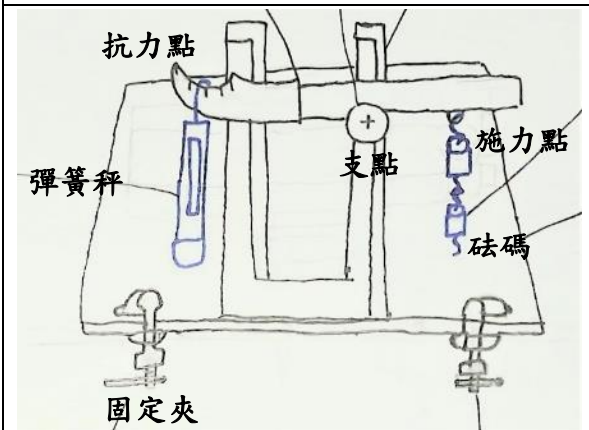


圖 43 閉合力測試模型設計圖

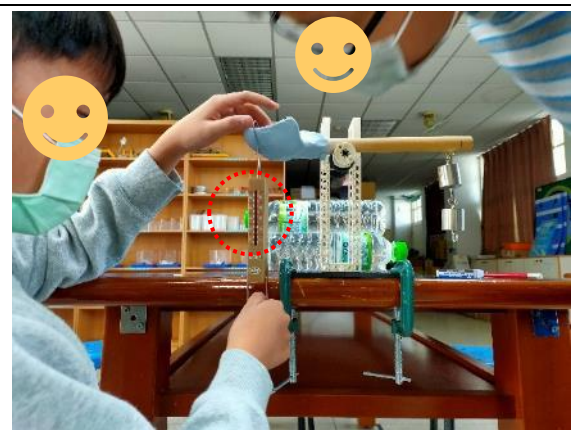


圖 44 平衡後讀取彈簧秤數據



## 2. 進行工蟻大顎抓力實驗

經觀察發現兵蟻的大顎顎弧比工蟻平滑，工蟻大顎顎弧上有長且尖銳的顎齒，為了瞭解這對抓住物體有什麼影響？本研究以平滑大顎和有齒大顎分別進行工蟻大顎抓力實驗，步驟如下：

- (1) 將前項實驗工蟻左、右大顎模型安裝於抓力實驗基座上，並懸掛 600gw 砝碼，當作是閉合大顎的施力。
- (2) 將海綿切成長 5cm、寬 2cm、高 2cm 的長條體，擬模擬大顎要抓住的物體。
- (3) 將海綿長條體綁上拉繩及彈簧秤，並以大顎模型夾住（圖 45、46）。
- (4) 拉動彈簧秤，逐漸加大拉力直到海綿長條體鬆脫，重複 5 次操作並記錄抓力大小。
- (5) 依照多樣擬大頭家蟻工蟻的顎齒分布（圖 47、48），利用電動雕刻筆將上述左、右大顎模型之顎弧磨出 5 個顎齒。
- (6) 重複 1~4 步驟，測量出有顎齒的抓力大小。

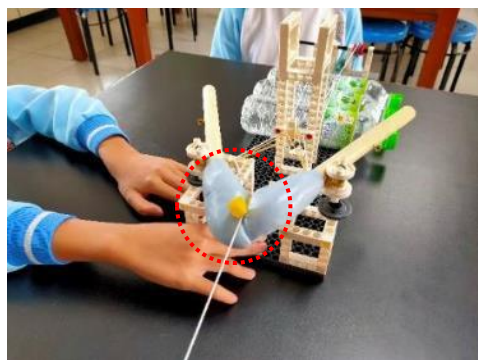


圖 45 將海綿放於大顎固定點



圖 46 使大顎閉合的 600gw 砝碼



圖 47 平滑的工蟻大顎模型



圖 48 有 5 齒的工蟻大顎模型

## 3. 進行工、兵蟻大顎切斷力實驗

- (1) 將前項實驗兵蟻左、右大顎模型安裝於切斷力實驗基座上（圖 49）。
- (2) 以保麗龍板切割成長 1cm、寬 1cm、高 30cm 的立方柱，當作是要切斷的物體。
- (3) 將保麗龍立方柱上半部固定於實驗裝置上（圖 50），下半部放置於左右大顎中間。
- (4) 利用 200gw、300gw、400 gw、500gw、600gw、700gw、800gw、900gw、1000gw 砝碼拉動左右大顎模型施力點，模擬大顎切斷物體的

動作，。

- (5) 查看保麗龍立方柱是否被切斷及斷裂情形，並記錄實驗結果。
- (6) 將前項實驗工蟻左、右大顎模型安裝於切斷力實驗基座上。
- (7) 重複 2~4 步驟，查看保麗龍立方柱是否被切斷及斷裂情形，並記錄實驗結果。

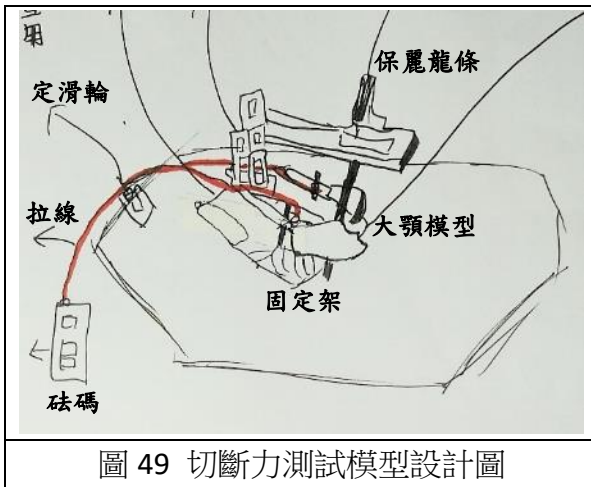


圖 49 切斷力測試模型設計圖

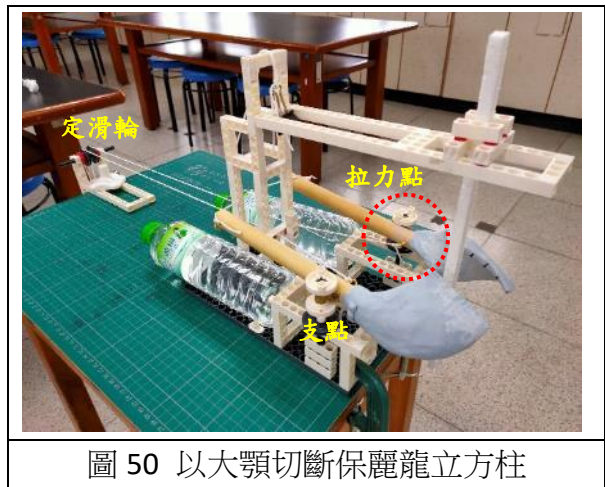


圖 50 以大顎切斷保麗龍立方柱

#### 4. 進行不同肌肉纖維組成兵蟻大顎切斷力實驗

根據德國學者 JÜRGEN & WULFILA (1999) 有關螞蟻大顎肌肉纖維分布對施力影響之研究結果，我們以大顎肌肉纖維數量為操縱變因，設計實驗以探討不同肌肉纖維組成對切斷力的影響。另外為了模擬具堅硬外殼的生物被切斷的狀況，我們選擇性質相近的義大利麵條當作是要被切斷的物體，並以不同數量的義大利麵條進行測試，實驗步驟如下：

- (1) 將兵蟻左、右大顎模型安裝於切斷力實驗基座上（圖 51）。
- (2) 將義大利麵條上半部固定於實驗裝置上，下半部放置於左右大顎中間（圖 52）。
- (3) 本研究模擬每束肌肉纖維可產生 200 gw 的力，分別以 1 對（左右大顎各一束）肌肉纖維（施力 400gw）、2 對肌肉纖維（施力 800gw）、3 對肌肉纖維（施力 1200gw）、4 對肌肉纖維（施力 1600gw）、5 對肌肉纖維（施力 2000gw）拉動大顎模型，模擬大顎切斷物體的動作。
- (4) 以不同數量的義大利麵條（1~10 根）網紮成束，分別進行切斷實驗，查看義大利麵條被切斷的數量及斷裂情形，並記錄實驗結果。

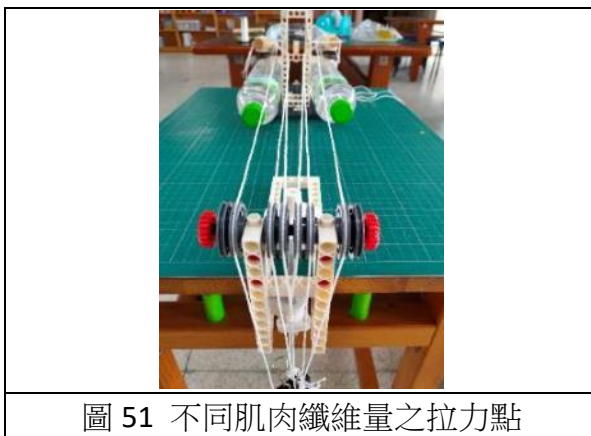


圖 51 不同肌肉纖維量之拉力點

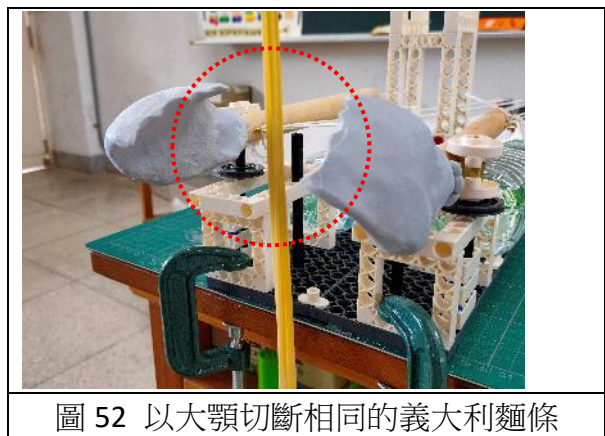


圖 52 以大顎切斷相同的義大利麵條

#### (二) 實驗結果

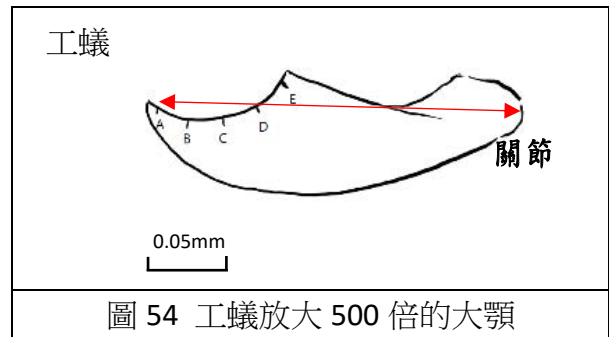
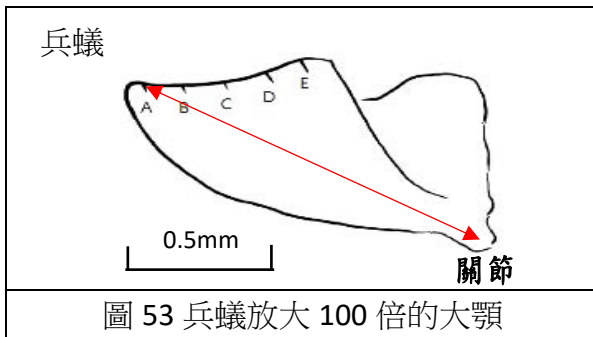
### 1. 工、兵蟻大顎閉合力比較

(1) 利用解剖顯微鏡實際測量工蟻及兵蟻頭部及大顎長度，數據如下：

類別 \ 部位長度	頭部長度	頭部寬度	大顎長度
兵蟻體長 9mm	3mm	3.2mm	1.25mm
工蟻體長 2.5mm	0.5mm	0.43mm	0.25mm

(2) 依照上述數據捏塑工蟻放大 500 倍、兵蟻放大 100 倍的大顎模型（圖 53、54），製作完成的工蟻及兵蟻大顎模型重量及尺寸如下：

類別 \ 部位長度	重量	大顎弧長	大顎長度	大顎寬度	大顎高度
兵蟻	147.4gw	6.3cm	12.5cm	5.5cm	6cm
工蟻	106gw	5.0cm	12.5cm	3.5cm	4.2cm



(3) 拉棉線測量各抗力點至關節點的立體及水平直線長度之數據如下：

位置 \ 距離	A	B	C	D	E
兵蟻立體直線	10.5cm	9.5cm	8.8cm	7.5cm	6.5cm
兵蟻水平直線	9.5cm	8.5cm	8.0cm	6.5cm	5.5cm
相差	1cm	1cm	0.8cm	1cm	1cm
工蟻立體直線	9.8cm	8.5cm	7.0cm	6.5cm	5.5cm
工蟻水平直線	9.0cm	8.0cm	6.5cm	6.0cm	5.0cm
相差	0.8cm	0.5cm	0.5cm	0.5cm	0.5cm

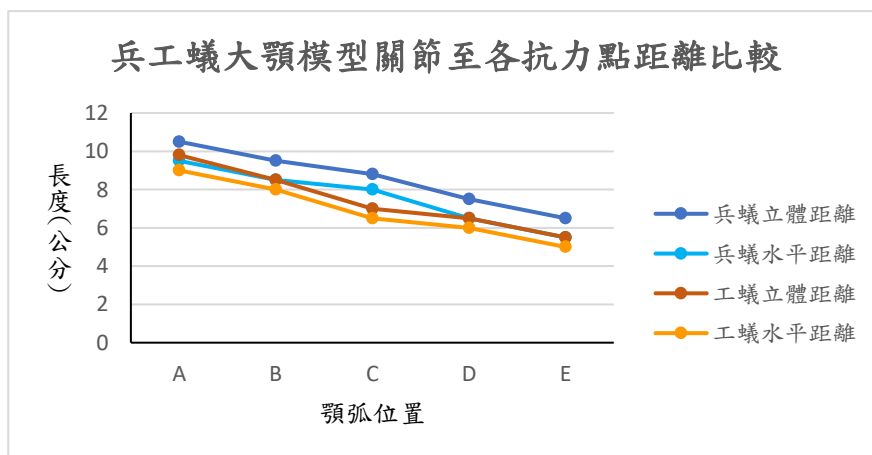


圖 55 工、兵蟻大顎模型關節至各抗力點距離比較



由上列數據及統計圖（圖 55）發現，兵蟻的大顎高度較高，立體直線與水平直線差距約為 1cm，而工蟻的大顎高度較低，差距約為 0.5cm。與大顎弧長（兵蟻的弧長為 6.3cm，而工蟻的弧長為 5.0cm）進行比較，發現立體直線與水平直線差距的值越大，大顎的弧長也越長，可增加大顎咬合施力的範圍。

- (4) 我們為了瞭解工蟻及兵蟻大顎構造所產生的閉合力差異，運用槓桿原理設計了實驗裝置，並分別在彎曲的大顎 5 個點（圖 56、57），以彈簧秤分別測量所產生的閉合力，其結果如統計圖所示（圖 58），我們發現越靠近 E 處，所得到的閉合力越大，代表抗力臂越短，施力臂越長，肌肉可以用小的力量，發揮較大的閉合力。
- (5) 而且兵蟻大顎的閉合力明顯大於工蟻，約為 1.8 倍的力量，若再還原大顎模型長度放大倍率（工蟻：兵蟻 = 5:1），則實際兵蟻閉合力約為工蟻的  $5 \times 1.8 = 9$  倍。（圖 58）
- (6) 另外 A 處與 B 處懸掛點位於大顎前端弧形彎曲處，距離關節支點的距離採斜邊長度計算，明顯短於直線距離，因此 A、B 兩處的閉合力相差較小，這的確是縮短抗力臂長度，又可加大接觸面積的好方法。
- (7) 還有 D、E 兩處懸掛點垂直高度差距較 C、D 處小，距離關節支點的距離一樣採斜邊長度，所以有較長的力距，因此可看出 D、E 處的閉合力差距較大。

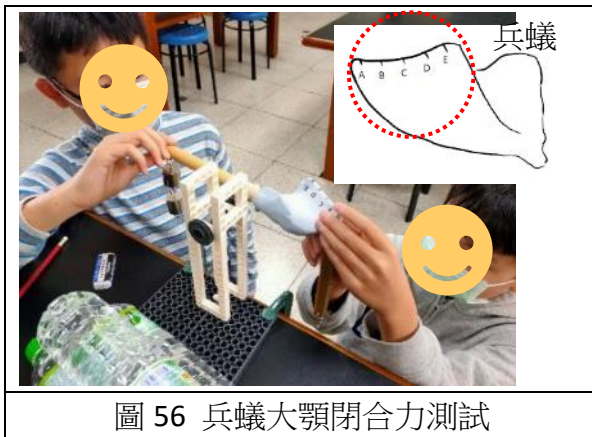


圖 56 兵蟻大顎閉合力測試

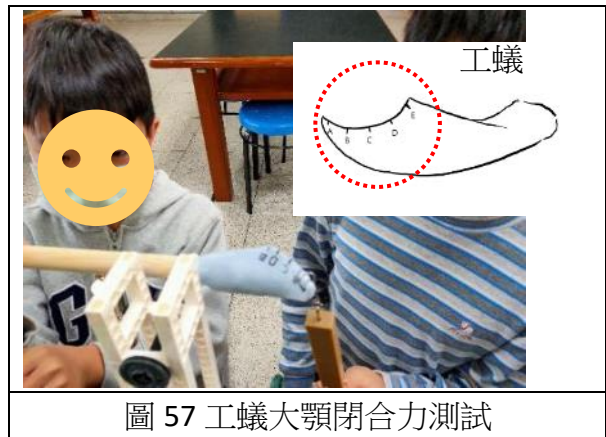


圖 57 工蟻大顎閉合力測試

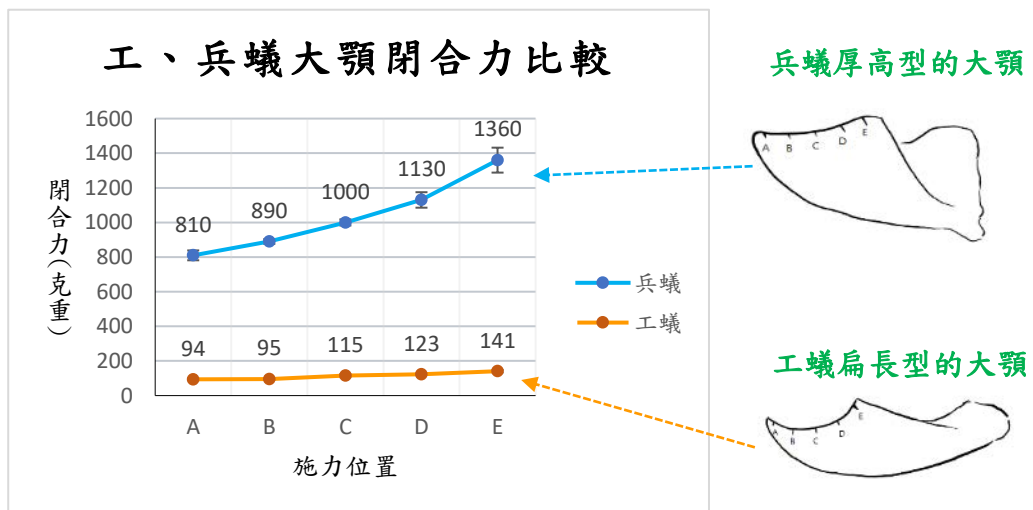


圖 58 工、兵蟻大顎閉合力比較

## 2. 工蟻大顎抓力比較

- (1) 經實驗操作後（圖 59~62），分別測量出平滑型大顎與有齒型大顎的抓力大小，其結果如統計圖所示（圖 63）。
- (2) 從實驗結果發現有齒的大顎抓力比平滑的大顎強，可以緊緊夾住海綿，而且藉由顎齒的穿刺，可以產生較大的摩擦力，需要較大的拉力才能讓海綿脫離大顎。

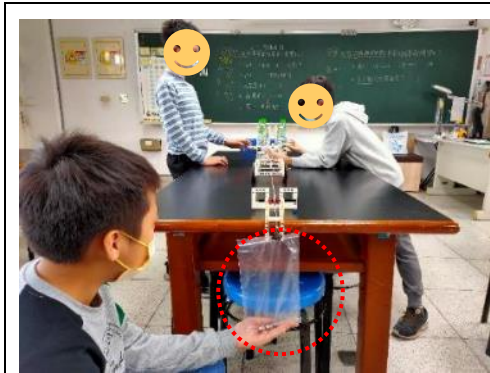


圖 59 大顎抓力實驗操作

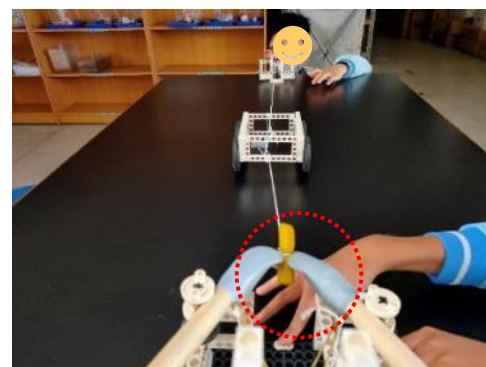


圖 60 大顎抓力實驗操作

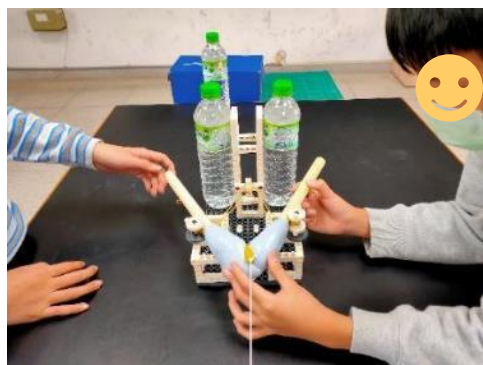


圖 61 平滑的大顎抓力實驗

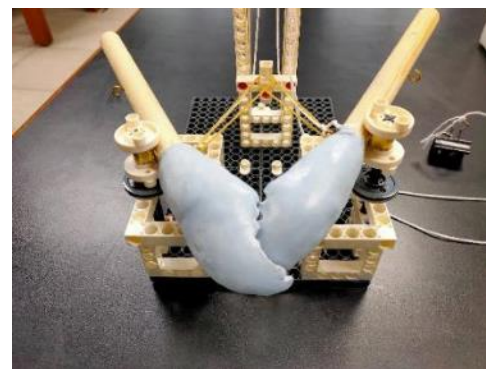


圖 62 有顎齒的大顎抓力實驗

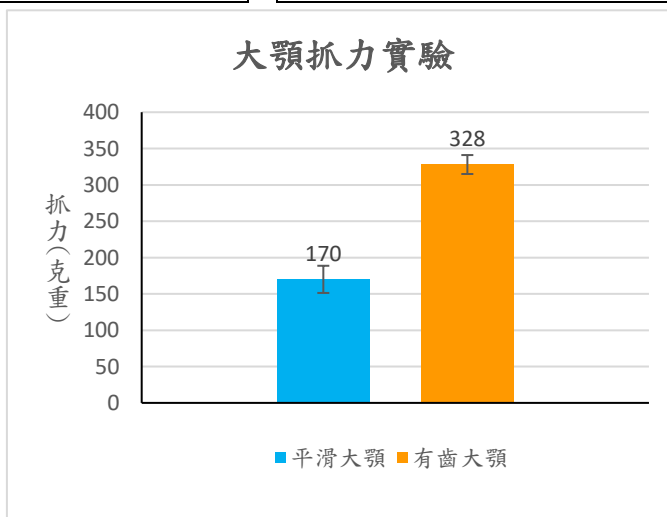


圖 63 工蟻大顎抓力比較

## 3. 工、兵蟻大顎切斷力比較

我們為了瞭解工蟻及兵蟻大顎構造所產生的切斷力差異，設計了模擬大顎切斷物體的實驗裝置（圖 64、65），並以同樣打小的保麗龍長條柱當作是被切斷物體，分別運用不同的閉合力量，測量出工蟻及兵蟻大顎切斷保麗龍

長條柱的能力。

為了比較切斷力的大小，我們依據保麗龍長條柱凹陷、彎曲及折斷的程度，分成 5 個切斷等級。0 級→沒有任何受損（圖 66、71）。；1 級→保麗龍長條柱稍微凹陷（圖 69）。；2 級→保麗龍長條柱凹陷較多且彎曲（圖 72）。；3 級→保麗龍長條柱已被折斷，但還有部分未分離（圖 67、73）。；4 級→保麗龍長條柱已被折斷，但還有夾在大顎上（圖 68、74）。；5 級→保麗龍長條柱已被折斷，並脫離大顎（圖 69）。。

經實際測試後其結果如統計圖所示（圖 76），我們有以下發現：

- (1) 兵蟻大顎的切斷力較強，在大顎施力 200gw 時，保麗龍長條柱已開始凹陷。大顎施力 600gw 時，保麗龍長條柱已被折斷，但還有部分未分離。大顎施力 900gw 時，保麗龍長條柱已被折斷，並脫離大顎。



圖 64 使用不同重量砝碼拉動大顎

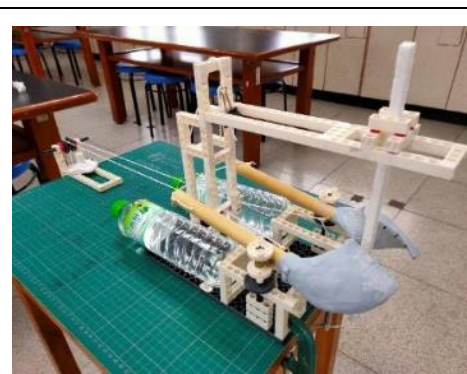


圖 65 未閉合前保麗龍長條柱完整

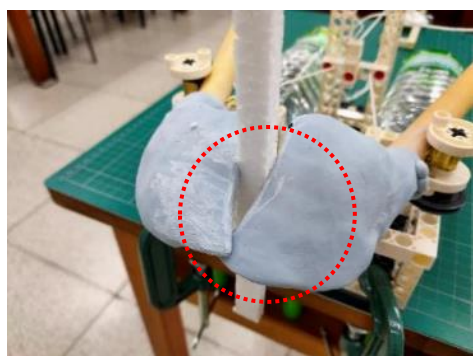


圖 66 被大顎夾住但未切斷

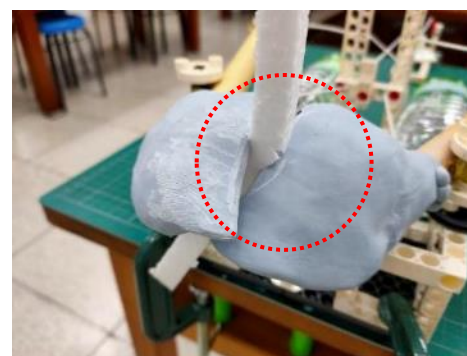


圖 67 已遭大顎切斷的保麗龍長條柱

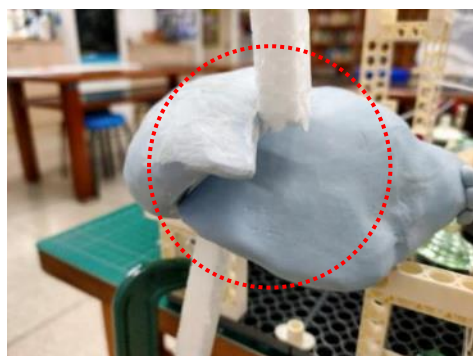


圖 68 被大顎切斷情形

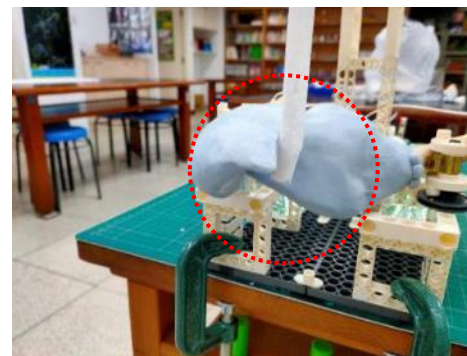


圖 69 被大顎切斷並上下分離情形

- (2) 工蟻大顎的切斷力較弱，在大顎施力 400gw 時，保麗龍長條柱才輕微凹陷。大顎施力 900gw 時，保麗龍長條柱才被折斷，但還有部分未分



離。大顎施力超過 1000gw 時，保麗龍長條柱才被折斷。

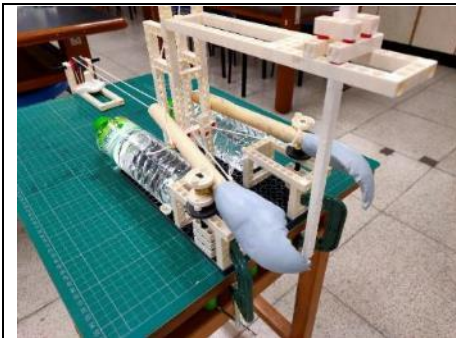


圖 70 裝置更換為工蟻大顎

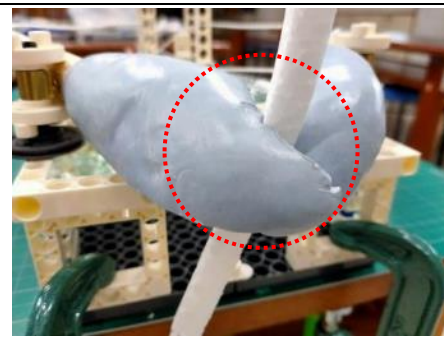


圖 71 被大顎夾住但未切斷

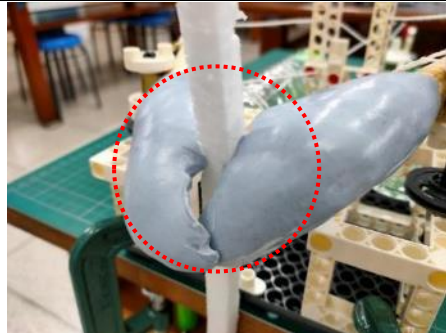


圖 72 被大顎夾住凹陷

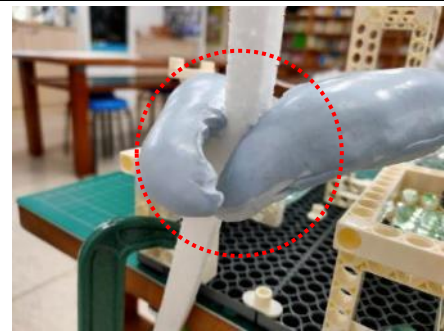


圖 73 已遭大顎扭曲的保麗龍長條柱



圖 74 已遭大顎切斷的保麗龍長條柱



圖 75 共使用 1800gw 的砝碼

(3) 工蟻及兵蟻大顎大小及施力相同時，兵蟻大顎的切斷力較強，若再依據大顎模型的放大倍率換算（工蟻：兵蟻=5:1），則兵蟻與工蟻的切斷力差距更大。

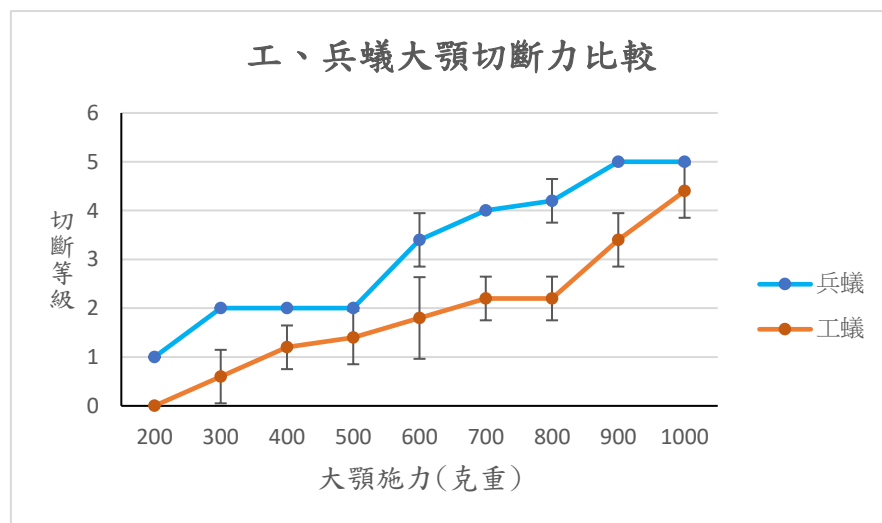


圖 76 工、兵蟻大顎切斷力比較

#### 4. 不同肌肉纖維組成兵蟻大顎切斷力比較

經實際測試後其結果如統計圖所示（圖 81），我們有以下發現：

- (1) 拉動大顎的肌肉纖維數較少時，切斷的義大利麵條數也較少，反之拉動大顎的肌肉纖維數較多時，切斷的義大利麵條數也較多。
- (2) 其切斷處皆和大顎接觸點相近（圖 77、78），若非全部切斷之情形，明顯發現以最先接觸之抗力點義大利麵條斷裂較多（圖 79、80），應該和大顎相互扣合之角度有關，較內側的部分大顎已無法再向內扣合，因此也無法再施力。
- (3) 根據統計圖所示（圖 81），可以發現肌肉纖維數與切斷力並非以線性增加，而是呈指數性變化，肌肉纖維數越多，切斷力的變化也越加劇烈。



圖 77 兵蟻大顎切斷義大利麵條的情形

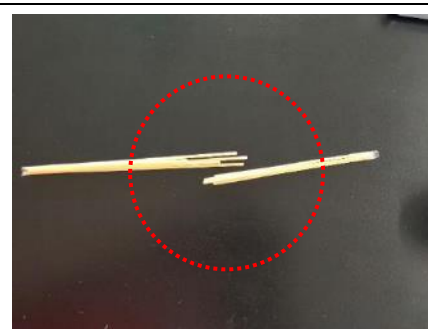


圖 78 切斷的義大利麵條上、下段



圖 79 以 10 根一束測試的結果

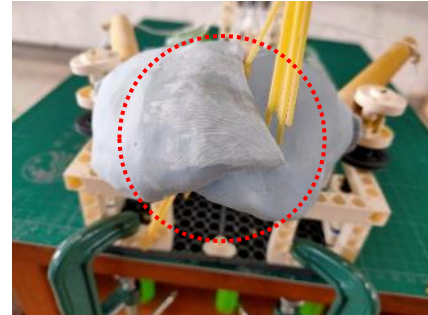


圖 80 左右大顎交叉扣合之情形

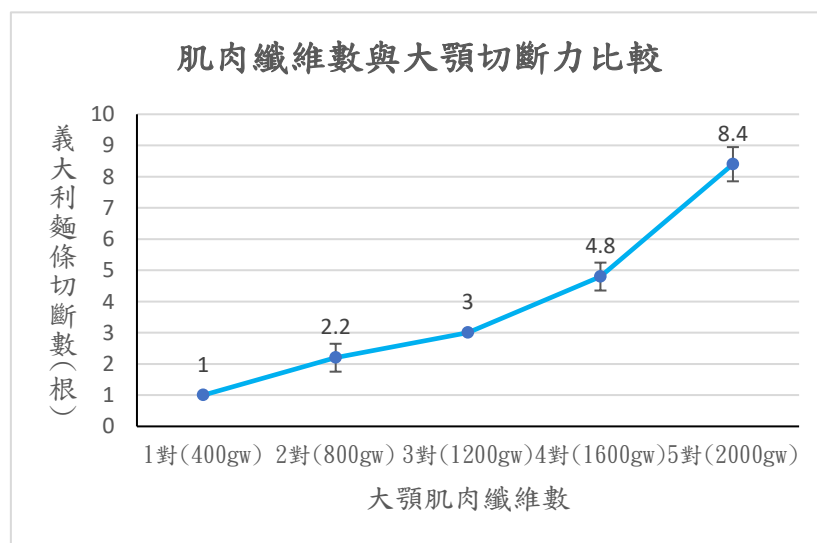


圖 81 不同肌肉纖維數與大顎切斷力比較

### (三) 討論

根據上述實驗結果分析我們發現：

1. 多樣擬大頭家蟻工蟻頭部的長度為大顎的 2 倍（兵蟻為 2.5 倍），施力臂的長度較短，因此閉合力較小，但因有尖銳的顎齒，抓力較強，可以利用顎齒穿刺卡住物體，搬運較輕的食物或切碎鬆軟的物體。但面對較堅固的食物或力量較大的入侵者時，其扁長型的大顎則不利於切斷物體及施力，需要兵蟻的幫忙。
2. 多樣擬大頭家蟻兵蟻的大顎巨大粗厚，頭部的長度為大顎的 2.5 倍，有較多的肌肉纖維，因此閉合力較大，雖然沒有尖銳的顎齒可以防止物體滑脫，但卻有較強的切斷力，可以切斷食物或入侵者身體部位，只要有工蟻群同時以多向抓力，讓攻擊者無法移動反擊，那麼兵蟻便可以順利將物體切斷。
3. 連結大顎的肌肉纖維數越多，可以產生較大的施力，因此以寬厚型的頭部，能容納較多的肌肉纖維。其產生的力量差異，可以由肌肉纖維所組成的體積來推算，體積越大，施力以指數倍率增大。
4. 上述之發現與巴西學者 Klunk(2020)以有限元素分析法(Finite Element Analysis)，利用電腦模擬不同職類的大頭家蟻(*Pheidole*)在四種施力狀況下其大顎應力反應之研究結果相近（圖 82），大顎施以撞擊力時，兵蟻的應力數值較高且分布區域較廣；大顎施以壓力時，工蟻的大顎應力數值較高且分布區域較廣，由此可看出工蟻和兵蟻大顎有功能上的差異，適合執行不同的任務，在生物的演化上，形態上的差異影響著族群任務的分工，工蟻和兵蟻運用彼此構造優勢，相互合作，能有效率地進行覓食與防衛。

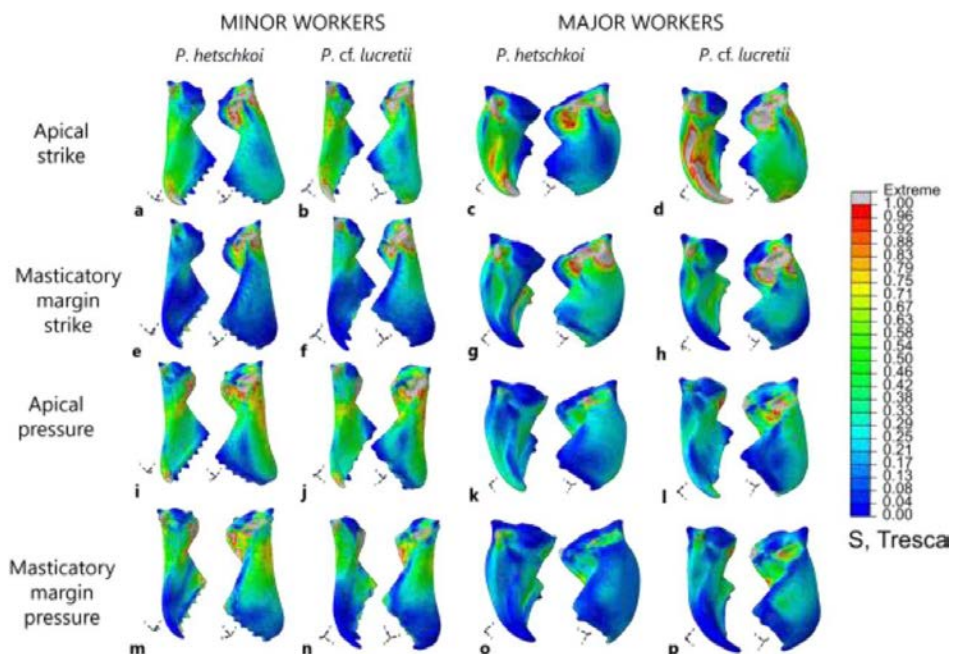


圖 82 大頭家蟻(*Pheidole*)工蟻與兵蟻大顎以有限元素法電腦模擬應力比較



## 肆、 結論

- 一、由校園中螞蟻族群分布情形調查中發現了九種螞蟻，其中分布最廣和數量最多的螞蟻是多樣擬大頭家蟻，校園中並未再發現入侵紅火蟻的蹤跡。
- 二、經細部觀察後，發現多樣擬大頭家蟻大顎與頭部的關節扣合方式，很像人類的骨頭與關節，可以運用槓桿原理來進行施力，利用頭囊內肌肉纖維的收縮與舒張，來控制大顎的開合，是非常巧妙的生物力學結構。
- 三、多樣擬大頭家蟻的工蟻大顎較小且較薄，像一把帶有鋸齒和尖刺的夾子，較長且尖銳的顎齒，具穿刺功能。而兵蟻的大顎巨大且粗厚，整體結構像一把堅固的斜口鉗，顎齒突起不明顯，形狀平整，較容易切斷物體。而彎曲狀的鏟型大顎，可以縮短大顎的力臂長度，利用槓桿原理增加施力，並可增加咬合的長度及面積。
- 四、多樣擬大頭家蟻蟻群覓食如果遇到比較大且重的食物時，會通知附近或巢穴中體型較大的兵蟻前來幫忙，協助將食物切成較小、較輕的部分，再由工蟻合力幫運。
- 五、當蟻群遭受攻擊時，會先由數量較多的工蟻以大顎咬住入侵者，以攻擊者為中心，同時多向後拉，讓攻擊者無法移動反擊，再由兵蟻以大顎咬斷入侵者的身體或其他脆弱部位，直到入侵者逃離或死亡。
- 六、兵蟻的大顎粗短，但有寬大的頭部，產生的閉合力為工蟻的 9 倍；而工蟻的弧形大顎細長，有較長且尖銳的顎齒，可產生較大的抓力；另外兵蟻鏟形的大顎，能發揮力學上斜面的作用，可產生較大的切斷力。
- 七、在生物的演化上，形態上的差異也影響著族群任務的分工，工蟻和兵蟻運用彼此構造優勢，相互合作，能有效率地進行覓食與防衛。
- 八、未來也可運用本研究在生物力學上的發現，設計用於抓取或切割的機械或器具，例如以扁長形有齒的弧型長夾，製造抓力強且速度快的機器手掌；或以短厚形的鏟形結構，製造較強切斷力的工具，將可大大提升其運作效能。

## 伍、 參考文獻資料

- 一、林宗岐、鍾富雅（2012）。探索湖山生物資源解說手冊-螞蟻篇。行政院農委會特有生物保育中心。
- 二、陳奕嘉等（2017）。螞蟻築橋真神奇。中華民國第 57 屆科學展覽會報告（編號：080318）。
- 三、張立駿等（2014）。亞洲行軍蟻—熱帶大頭家蟻軍團。中華民國第 54 屆科學展覽會報告（編號：030310）。
- 四、張永承等（2018）。瘋狂蟻別鬧了一長腳捷蟻（*Anoplolepis longipesngipes*）生態與防治之研究。中華民國第 58 屆科學展覽會報告（編號：080312）。
- 五、董景生、山馥嫻、林宗岐（2009）。福山地區螞蟻監測及鑑定指南。行政院農業委員會林業試驗所。
- 六、歐秉華等（2016）。蟻國風雲—破壞單家蟻（*Monomorium destructor*）超級聚落之研究。中華民國第 56 屆科學展覽會報告（編號：080314）。
- 七、鍾承典（2015）。百「絲」莫解—黑棘蟻（*Polyrhachis dives*）蟻絲蛋白探秘。中華民國第 55 屆科學展覽會報告（編號：030303）。
- 八、蕭筠蓁等（2020）。全力蟻赴。中華民國第 60 屆科學展覽會報告（編號：080305）。
- 九、Goyens, J., Soons, J., Aerts, P., & Dirckx, j. (2014). Finite-element modelling reveals force modulation of jaw adductors in stag beetles. *Journal of The Royal Society Interface*, 11. <http://dx.doi.org/10.1098/rsif.2014.0908>
- 十、JÜRGEN, P. & WULFILA, G. (1999). Optimizing Force and Velocity: Mandible Muscle Fibre Atchments in Ants. *The Journal of Experimental Biology*, 202, 797-808. <https://doi.org/10.1002/jmor.21358>
- 十一、 Julian, K., Pavel, P., Heiko, S. & Evan, P. E. (2022). A Roadmap to Reconstructing Muscle Architecture from CT Data. *Integrative Organismal Biology* (pp. 1–16). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/iob/obac001>
- 十二、 Klunk, C. L., Argenta, M. A., Casaei-Ferreira, A., Economo, E. P. & Pie, M. R. (2020). Mandibular morphology, task specialization, and bite mechanics in Pheidole ants (Hymenoptera: Formicidae). *bioRxiv – Ecology*. <https://doi.org/10.1101/2020.11.16.385393>
- 十三、 科普新世界。蟻界的精銳部隊—多樣擬大頭家蟻【法布爾昆蟲記】。2021 年 11 月 18 日取自 <https://www.youtube.com/watch?v=7bu76LxR3vM>
- 十四、 台灣生命大百科。多樣擬大頭家蟻 *Pheidologeton diversus*。2021 年 11 月 18 日取自 <https://taieol.tw/pages/97476/articles>

## 【評語】 080318

本研究觀察學生就讀學校校園螞蟻族群的分布，調查中發現以大顎進行覓食與防衛的多樣擬大頭家蟻分布廣、數量多，作者透過形態分析及力學測試，比較兵蟻、工蟻大顎結構差異及與功能的相關性，利用自製的力學測試裝置和大顎放大模型測試兵蟻、工蟻的閉合力、抓力和切斷力之實驗分析，其在覓食與防衛行為上的差異，及探討其原因。

作者能就所觀察到的現象提出科學性問題，並且設計出適當的實驗來做驗證，再將數據清楚分析與解釋，尤其能發揮巧思設計力學量測儀器對模型進行量測，將大顎的各種作用力進行量化。善用統計分析，能充分比較各組間的差異，具有科學依據，但作者須熟悉統計概念，以及實驗設計上的參數選擇。整體而言在實驗設計上仍是一件很好的研究作品，具有學術價值的潛力。

建議：

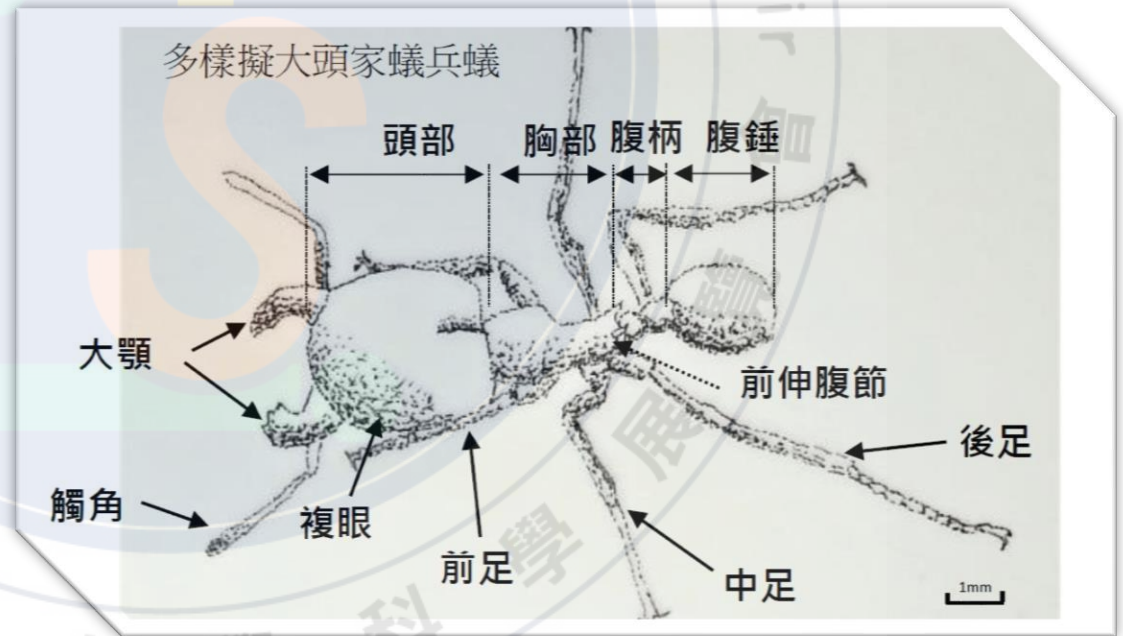
1. 作品內容中的校園螞蟻種類調查，非本作品的重點，可以更聚焦。
2. 以大顎模型進行力學測試前，最好能提出更多的依據或證據，支持該仿真性的正確度。



3. 巴西學者 Klunk 所使用電腦模擬出大頭家蟻大顎四種施力的應力數值，其結果與本研究所量到的結果相近，說明書應該列出一個比較表，把量測到的應力數值與其作相互比對，讓自己設計的模型試驗平台更具有說服力。

## 作品簡報

# 螞蟻的大鋼牙 - 探討多樣擬大頭家蟻 (*Pheidologeton diversus*) 的 大顎構造與覓食和防衛行為的相關性



- ◆ 組別：國小組
- ◆ 科別：生物科

# 前言

## ● 研究動機

多樣擬大頭家蟻

✘ 入侵紅火蟻

圖1 兵蟻腹錘

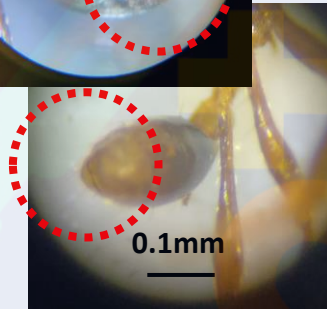
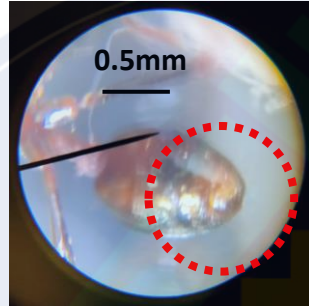


圖2 工蟻腹錘



兵蟻

1mm



工蟻

1mm

圖3 體長約9.2mm 圖4 體長約2.4mm

## ● 觀察發現

1. 無螫針及蟻酸，但有奇特的大顎。(圖1、2)
2. 工蟻和兵蟻體型和數量相差很大。(圖3、4)  
(林宗岐、鍾富雅，2012)

## ● 研究目的

1. 頭部大顎構造有什麼特別？
2. 工蟻和兵蟻如何一同覓食與防衛？



# 研究過程方法、結果與討論

## 一、多樣擬大頭家蟻工蟻和兵蟻的大顎結構差異

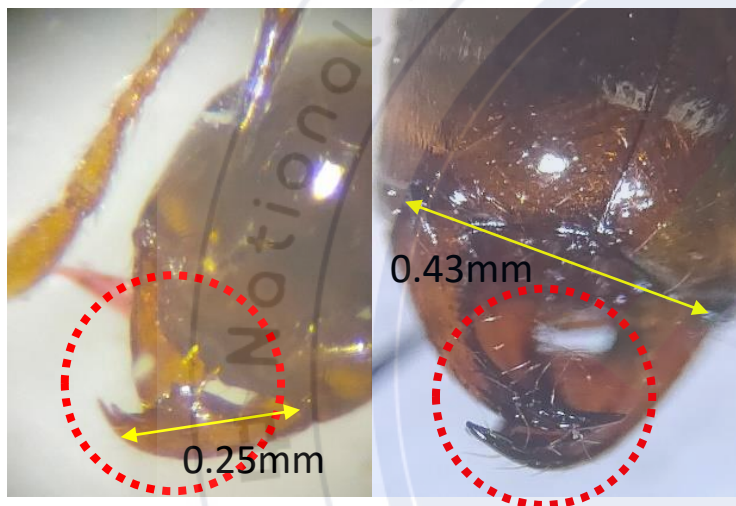


圖5 工蟻的大顎結構

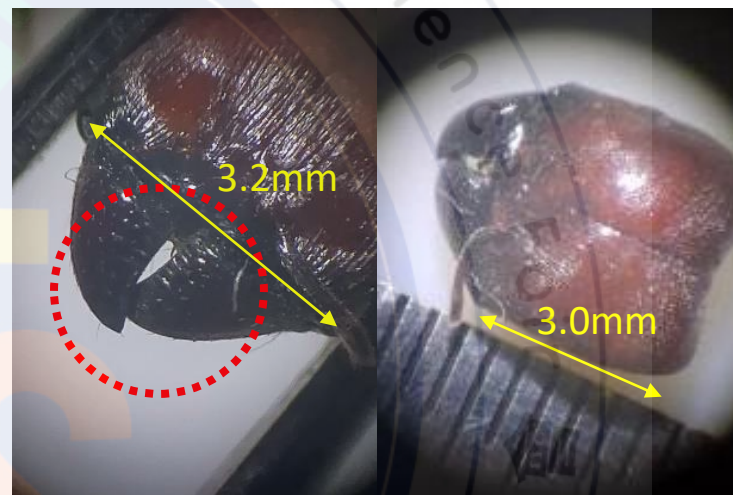


圖6 兵蟻的大顎結構

- ▶ 1. 工蟻弧形大顎細長，有尖銳顎齒。(圖5)
- 2. 兵蟻鏟型大顎粗短，顎齒突起不明顯，形狀平整。(圖6)

## 二、多樣擬大頭家蟻兵蟻大顎關節與頭部肌肉纖維分布

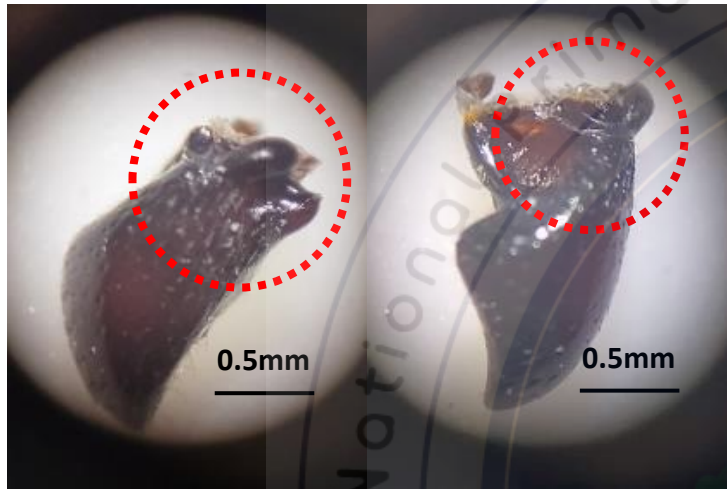


圖7 兵蟻的大顎關節結構

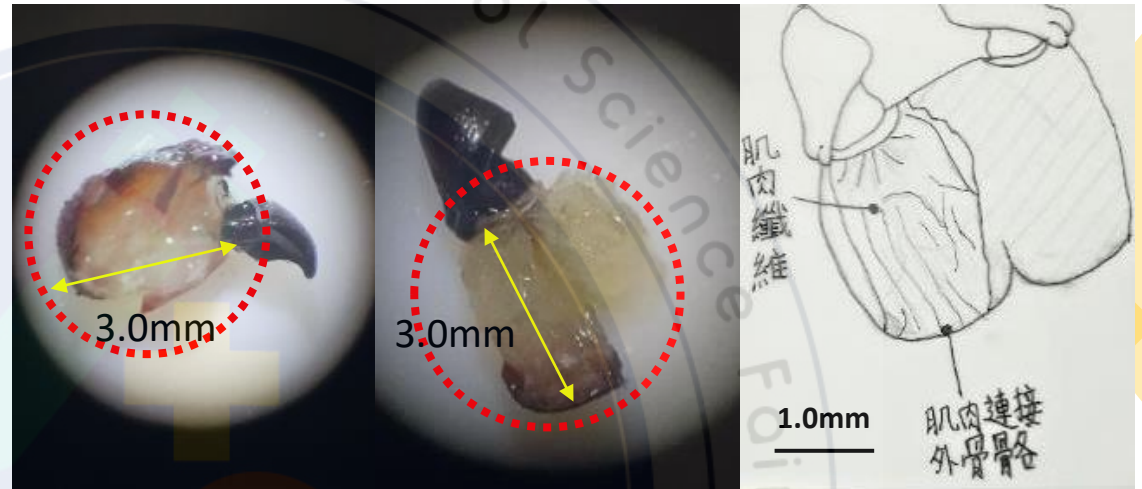


圖8 兵蟻頭部肌肉纖維分布

- ▶ 1. 大顎基部外有3個突起關節，與頭部外骨骼相互扣合，可自由轉動。(圖7)
- 2. 頭囊內部充滿肌肉纖維，以不同長度，從大顎基部直接附著頭囊各區域。(圖8)



### 三、多樣擬大頭家蟻工蟻和兵蟻的覓食與防衛行為



圖9 覓食行為觀察

▶ 遇到較大且重的食物時，數量較多的工蟻會和少數兵蟻一同切割與搬運。(圖9)

▶ 大量工蟻同時後拉固定入侵者(圖11)

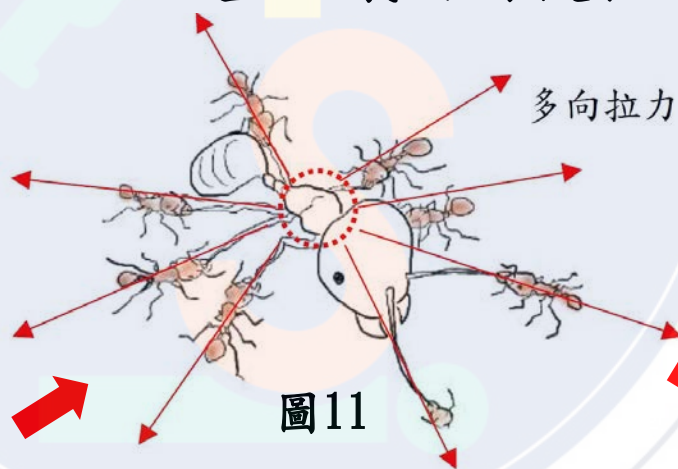


圖11



圖10 防衛行為觀察

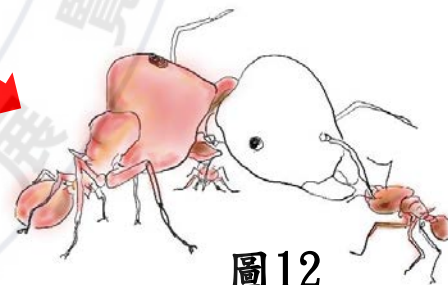
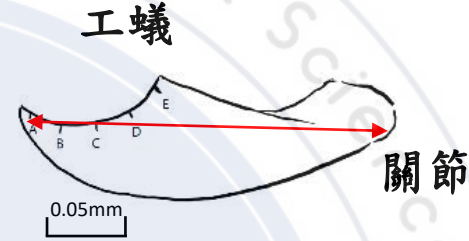
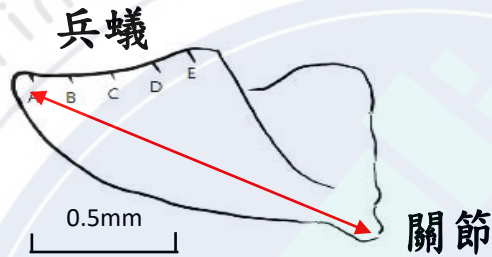


圖12

▶ 少量兵蟻以大顎咬斷入侵者(圖12)

# 四、多樣擬大頭家蟻工蟻和兵蟻大顎各種作用力

◆ 閉合力



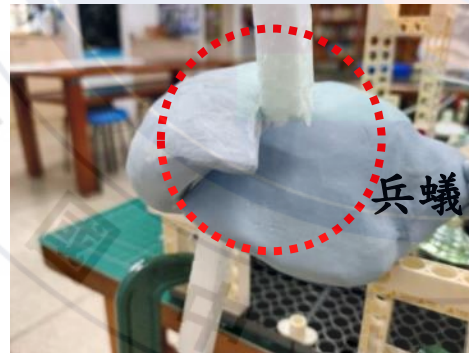
槓桿  
力矩

◆ 抓力



摩擦力

◆ 切斷力



斜面  
切力



# 四-1、多樣擬大頭家蟻大顎閉合力實驗

## ◆過程及方法

圖13 實驗裝置設計圖

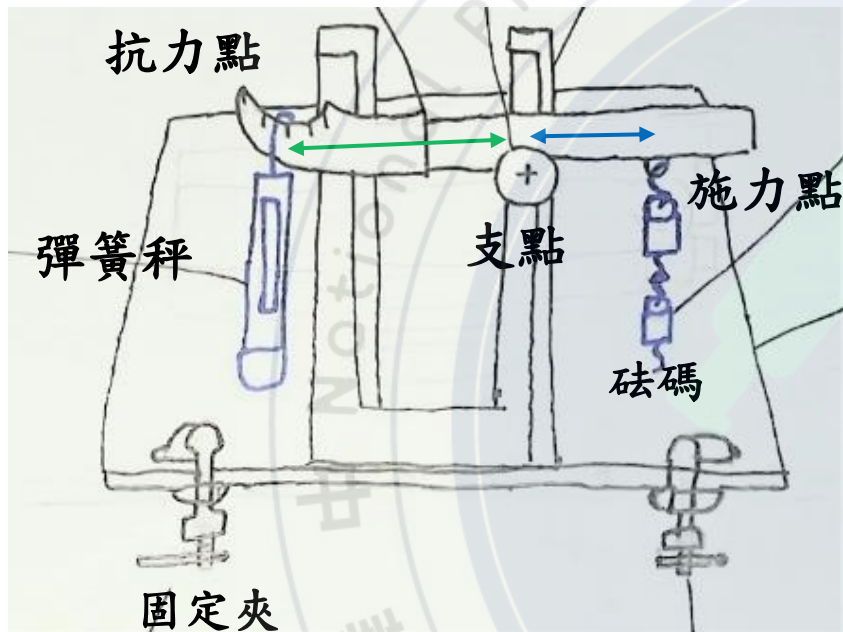


圖14 兵蟻大顎模型

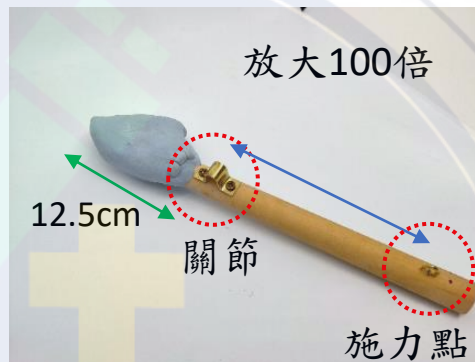
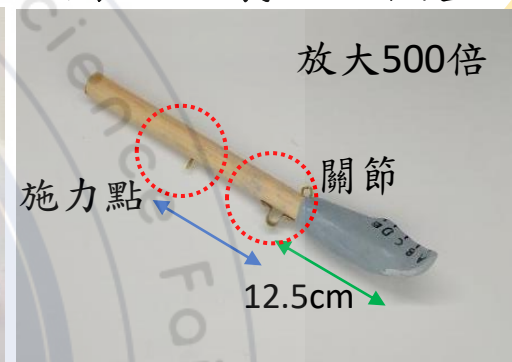


圖15 工蟻大顎模型



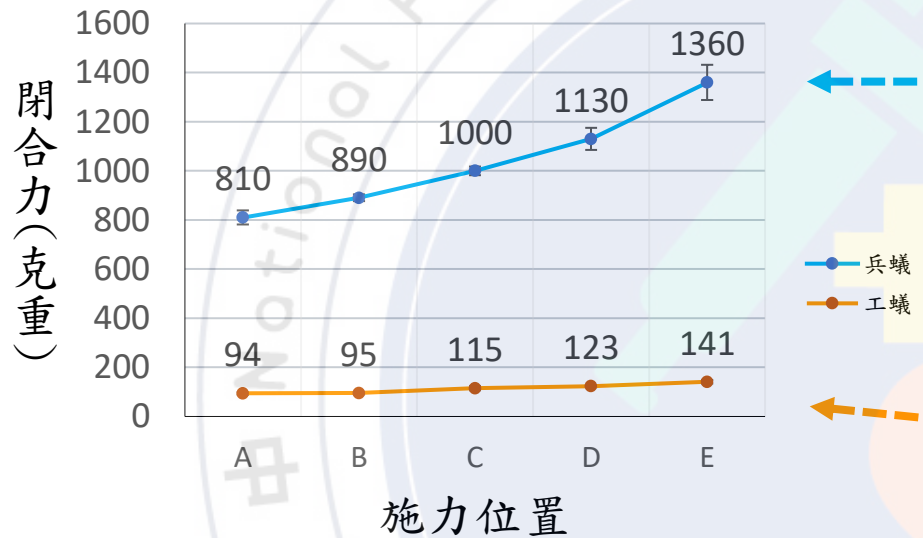
大顎長度均為12.5cm

▶ 相同長度的大顎在形狀及結構的差異下，會對閉合力產生什麼影響？（圖13~15）



# ◆ 結果與討論

## 工、兵蟻大顎閉合力比較



### 兵蟻厚高型的大顎



圖16

### 工蟻扁長型的大顎

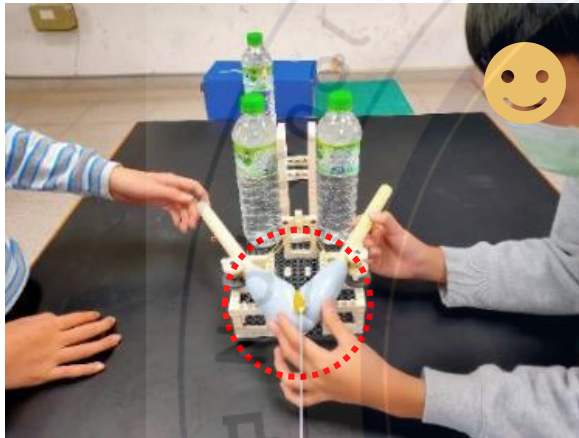


圖17

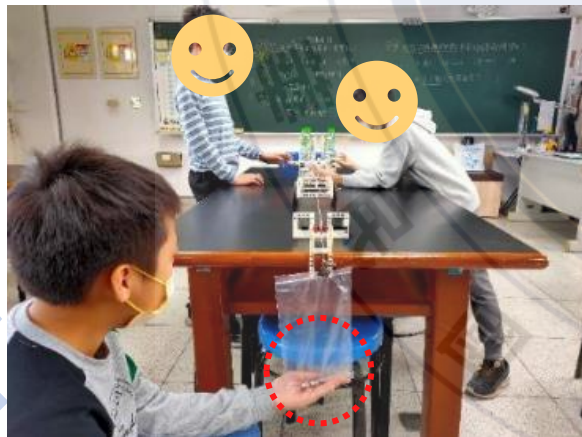
- ▶ 1. 還原大顎模型長度放大倍率（工蟻：兵蟻=5:1），兵蟻閉合力約為工蟻的  $1.8 \text{倍} \times 5 = 9 \text{倍}$ 。
2. 彎曲狀的大顎，可以縮短大顎的抗力臂長度，利用槓桿原理增加施力，並可增加咬合的長度及面積。（圖16、17）

## 四-2、多樣擬大頭家蟻工蟻大顎抓力實驗

### ◆ 過程及方法

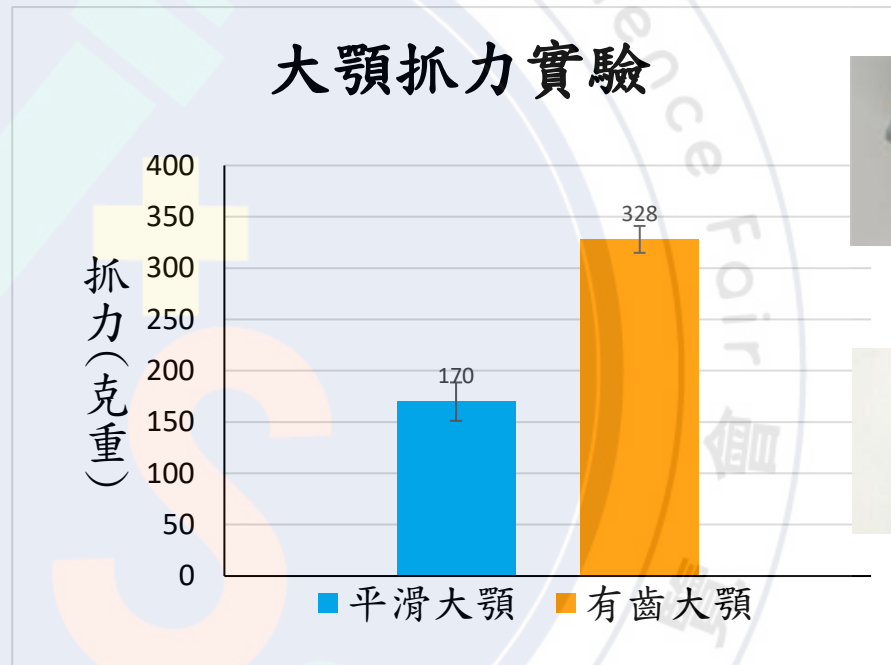


抓力實驗裝置



施加後拉力

### ◆ 結果與討論



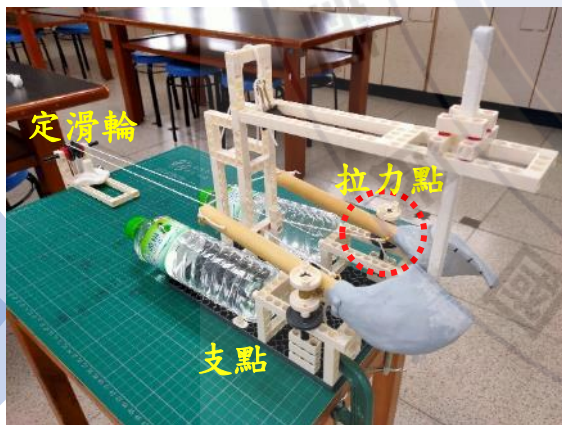
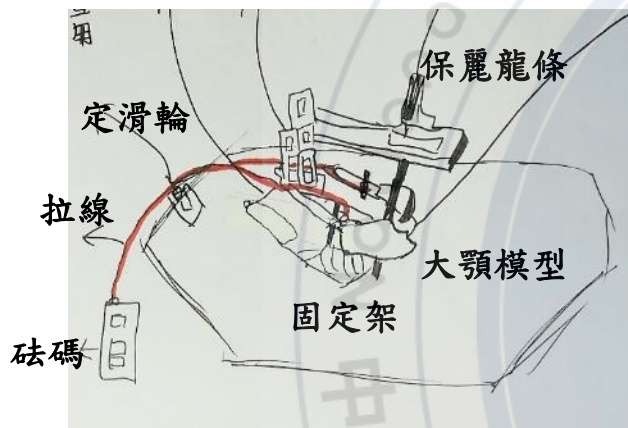
- ▶ 藉由顎齒的穿刺，可以產生較大的摩擦力，因此有顎齒的大顎抓力較大，約為1.9倍。



# 四-3、多樣擬大頭家蟻工、兵蟻大顎切斷力實驗

## ◆過程及方法

### 實驗裝置設計圖



## ◆結果與討論

(放大倍率工蟻：兵蟻=5:1)

### 工、兵蟻大顎切斷力比較

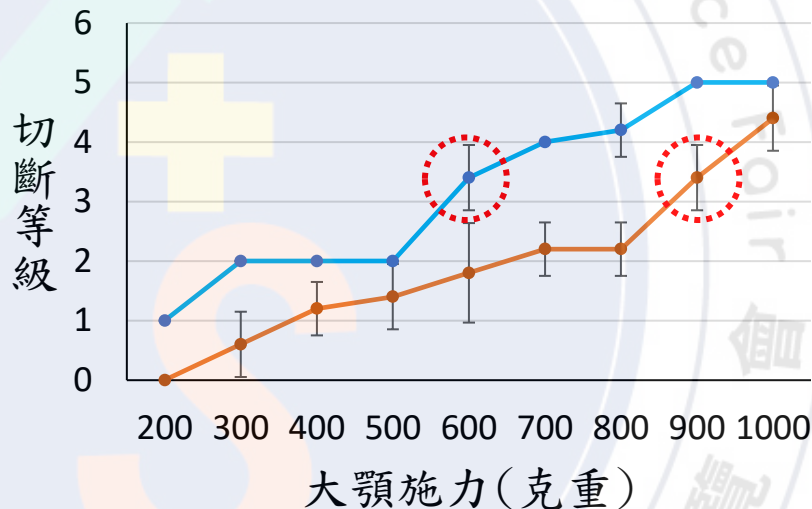


圖18



● 兵蟻  
● 工蟻



圖19

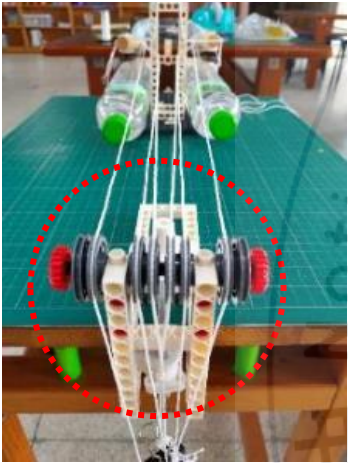
▶ 大顎長度 (12.5cm) 及施力相同時，兵蟻大顎的切斷力較強。

(圖18、19)



## 四-4、不同肌肉纖維組成兵蟻大顎切斷力實驗

### ◆過程及方法



不同肌肉纖維量之拉力點



切斷相同的義大利麵條

### ◆結果與討論

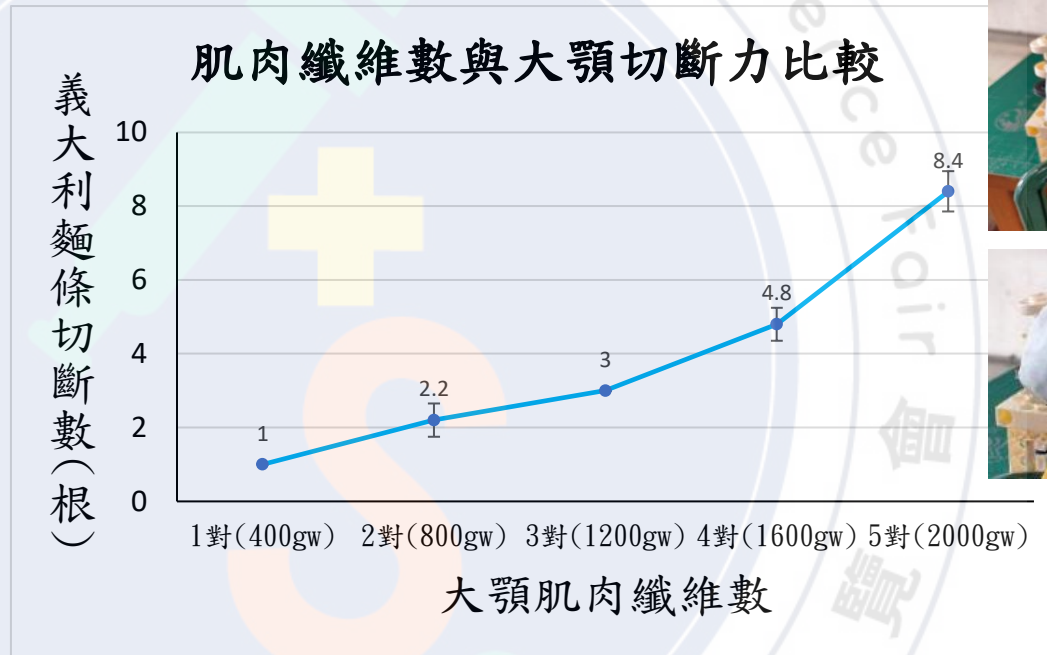


圖20



圖21

- ▶ 肌肉纖維數越多，所產生的拉力也就越大，因此大顎的切斷力也越大。(圖20、21)

## 結論與未來展望



1. 在多樣擬大頭家蟻的群落中，工蟻數量較多且大顎的抓力強，雖然閉合力及切斷力較小，但可進行合力搬運的任務。而兵蟻數量少，但大顎有較強的閉合力及切斷力，可在工蟻無法分解食物和對抗入侵者時，相互合作，有效率地進行覓食與防衛。(Klunk et al., 2020)
2. 未來也可運用本研究在生物力學上的發現，設計用於抓取或切割的機械或器具，將可大大提升其運作效能。

## 參考文獻資料

- 一. 林宗岐、鍾富雅 (2012)。探索湖山生物資源解說手冊-螞蟻篇。行政院農委會特有生物保育中心。
- 二. Klunk, C. L., Argenta, M. A., Casaei-Ferreira, A., Economo, E. P. & Pie, M. R. (2020). Mandibular morphology, task specialization, and bite mechanics in Pheidole ants (*Hymenoptera: Formicidae*). bioRxiv - Ecology. <https://doi.org/10.1101/2020.11.16.385393>