



圖 1：正在採蜜的螞蟻 (圖片來源：Manfred Fiedler)

螞蟻

螞蟻真是令人著迷！在螞蟻身上可觀察到許多成功的生存策略及行為模式，從中也可有多方面的學習與應用。以螞蟻為主題更有無限的研究與實驗。

所謂令人著迷之處，便是螞蟻獨一無二的社會結構、極高效率的團隊合作、以及螞蟻的能力。

「懶惰的人啊，你去看看螞蟻，就可得智慧！」(舊約聖經，箴言 6:6) 憑著這樣的想法，我們將以如下的主題活動來探究。

本章的基本目的以及主題活動

- 消除對螞蟻的偏見，並喚起對螞蟻的聯想與同理心。
- 認識螞蟻在生態系統中的角色並了解其重要性。
- 認識螞蟻作為昆蟲界代表的有趣之處。
- 從螞蟻高度發展的組織結構以及溝通方式來學習。
- 了解螞蟻對於仿生學的意義。
- 分析比較螞蟻社會與人類社會的異同。

1. 專業知識背景

1.1 螞蟻的分類以及多樣性

螞蟻為蟻科 (*Formicidae*) 中群體生活習性的昆蟲，與黃蜂、蜜蜂等同屬膜翅目 (*Hymenoptera*)。螞蟻早在 1.3-1.1 億年前的白堊紀中期就已經出現，由原始黃蜂演變而來。螞蟻的特徵為觸角呈明顯的膝狀彎曲，腹部成結節狀而分為兩部分。

螞蟻可算是世界上最成功的物種，在總共約 22,000 種類當中，至今都還有大約 12,500 種類的螞蟻活躍於世界上。在熱帶地區的螞蟻種類最多樣化，在歐洲目前約有 200 多種，而德國境內就有 114 種及 26 屬不同的螞蟻。

螞蟻的世界紀錄

- 螞蟻自 1.3 億年前就存在於地球，是目前發展且遍佈最廣的昆蟲，相對於大多數的昆蟲，螞蟻的腦細胞高達 25 萬之多，也就是說，一個帶有四萬隻螞蟻的蟻丘，其腦細胞的總數大約等於一個人類大腦。
- 螞蟻在地球上的總生物量大約等於所有其他昆蟲總數的一半，根據 Bert Hölldobler 和 Edward O. Wilson 的研究，螞蟻的生物量甚至大大超出了人類。
- 在仿生(電子)學的研究領域中，螞蟻是最常被應用的動物，可應用的科目當廣泛，包括資訊科學、邏輯學、交通運輸研究、建築、溝通及管理等等。
- 以體型比例來說，沙漠螞蟻可謂為地表上最快的動物。牠的四隻腿約 4 公厘長，能讓牠與高溫的沙漠地面保持間隔。牠的速度可高達每秒鐘一公尺，其身體結構能夠抵擋沙漠 54°C 以上的高溫。
- 世界上最大的動物巢穴為葉刀螞蟻的蟻丘，建造於丘陵上，表面積達 50 平方公尺，深度則達 8 公尺。
- 世界上最成功的獵人為行軍蟻，行軍蟻的群聚處可高達 2 百萬隻，由於這樣大型的團體行動，行軍蟻每天大約殺死 10 萬隻的動物，牠們很少處於靜止狀態且不築巢(蟻丘)，而是連結彼此的身體作為暫時的營地。
- 南美洲子彈蟻的螫傷是世界上刺痛指數最高的，人類被子彈蟻螫傷後，會產生燃燒般劇烈的刺痛，且能持續長達 24 小時。
- 一種西伯利亞的螞蟻，能蟄伏在低溫達-40°C 的環境過冬。
- 經過負重測試發現，山蟻能乘載自己體重 30-40 倍以上的重量。

在接下來的主題活動中會敘述到許多不同種類的螞蟻，在德國最常見的則是深灰色(幾近黑色)的黑褐毛山蟻 (*Lasius niger*)。

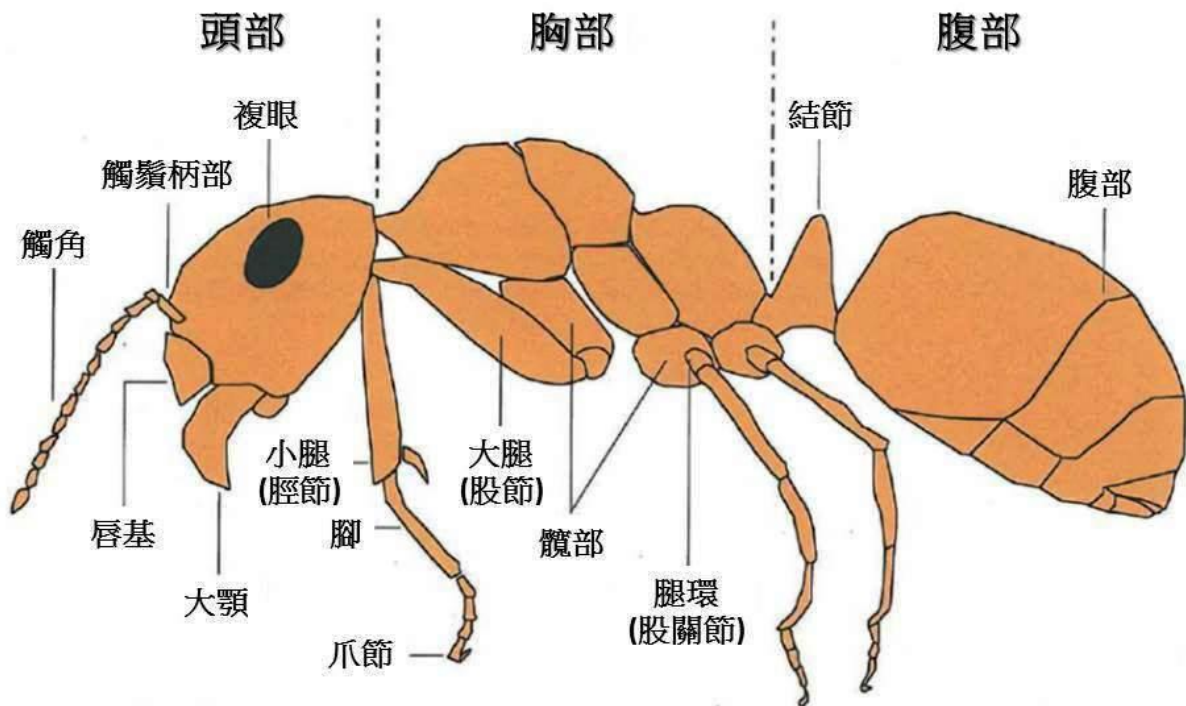


圖 2：弓背螞蟻的身體構造。(圖片來源：Kristel Kerler, ANL)

1.2 螞蟻的型態

螞蟻體型的特徵，在於其身體明顯的分節，由頭部、胸部、腹部三部分組成，胸部與腹部之間以柄節連結；蟻科由胸部以下有一個腹部，家蟻亞科則有兩個。

昆蟲的口器多半由三個成對的器官組成，由四肢進化發展而來：大顎(上顎)、下顎以及下唇。(在上下唇相連處長有第二個下顎)

螞蟻的下顎及下唇長有成對的顎齒，即是螞蟻攝取營養及品嘗味道的重要器官，經由口器咀嚼過的食物會用來餵養幼蟲，幼蟲則藉由體內的酵素來消化，螞蟻的幼蟲通常是如此來吸收營養。



圖 3：圖中可見淺褐色燕尾形的部份便是螞蟻的上唇，向上連結的深色部分為頭盾，中間清晰可見的是頭部的龍骨。(圖片連結：www.AmeisenWiki.de，圖片來源：Dean Epli)

頭部

螞蟻的感覺器官長在頭部：大大的複眼、一對觸鬚及口器。螞蟻的口器具有啃咬的功能，主要在於大顎的部分。各個器官依照所需任務的性質不同，各有不同的功能發揮。

觸鬚(角)由數根較粗大的鞭毛組合而成，鞭毛與頭部之間為柄狀連結因此可活動。

胸部

如同其他的昆蟲，螞蟻的胸部由三個部分組成：前胸、中胸、後胸；每個部分都長有一雙腿，總共是六條腿。腿的部分則由腰節、髖節、大腿、小腿、腳及爪節所組成。

腹部

螞蟻的腹部長有大部分的器官，包含相當重要的腺囊，特別是在攝取大量的花蜜時，腹部由於腺囊的關係會腫脹變大。由於胸部及腹部間連結的柄節，螞蟻的身體具有高度的活動性(柔軟度)，因此能用身體將物體由身體的末端送往頭部，藉以彼此傳遞。也由於這樣高度的活動性，林蟻在用大顎咬傷敵人後，能往視線方向瞄準並射出毒液；家蟻亞科如黃蜂般具有毒刺，能用於狩獵或保衛。

1.3 生物學、生態學及生活方式

螞蟻幾乎存在於地球上各個角落以及所有的生態系統中，其生物量占有所有陸地動物的15-25%，螞蟻之所以能大量的生存，歸因於牠們高度發展的社會組織結構以及適應能力，使得牠們能夠開發所有可用的營養來源。

螞蟻社會的建立通常由 12-24 隻高度掠食性的螞蟻開始，牠們起先居住於空置的洞穴，再逐漸發展繁殖而增加數量，進而佔據相當大面積的區域並形成數百萬隻螞蟻構成的螞蟻群體。在較大的螞蟻群體中通常有著無繁殖能力且無翅的雌蟻，稱為工蟻。工蟻主要負責哺育幼蟲及採集花蜜，在不同氣候的地區有著不同的型態。在所有的螞蟻群

體中，幼蟲通常在氣候溫暖時開始發育成長(長成蟻后及雄蟻)。更多的資訊可在維基百科上查詢。

(<http://de.wikipedia.org/wiki/Ameisen>)

螞蟻具有嚴密的社會結構，通常由數百隻甚至數百萬隻工蟻以及相對來說少數的成蟻所組成(通常是一隻蟻后，依季節性可能有數隻雄蟻)。雌蟻的壽命相當長，依種類不同，工蟻的壽命通常在3-6歲，而蟻后則可高達20-25歲，紀錄上紅褐林蟻的蟻后壽命甚至高達30歲。螞蟻通常在腐木上或平坦的石頭下建造蟻丘，以毛山蟻地面上的蟻丘及林蟻針葉叢下的蟻丘來說明，可見其複雜的構造。



圖 4：黑褐毛山蟻 (*Lasius niger*) 在地面上的蟻丘。(圖片來源：Peter Sturm, ANL)



圖 5：紅褐林蟻 (*Formica rufa*) 巨大的針葉堆蟻丘 (圖片來源：Wolfram Adelman, ANL)

相對來說，毛山蟻 (*Lasius* sp.) 在地面上的蟻丘構造較為簡單，而林蟻 (*Formica sensu stricto*) 的蟻丘則相當複雜，令人印象深刻。林蟻的蟻丘是以落在地面的針葉構成，林蟻可算是高度發展的蟻類，用針葉堆建造出的蟻丘能讓牠們在嚴峻的氣候環境安然地過冬。最著名的例子是在同一區域內有高達 700 個蟻丘。這樣的針葉叢蟻丘是理想的儲存熱能環境，熱能則來自於四月至十月間 20-30°C 的日常溫度，日光照射，蟻丘包含的物質分解腐壞時產生的熱能，以及螞蟻本身新陳代謝時產生的熱能。藉由蟻丘出口的開關，用以維持蟻丘溫度的平衡：天氣較熱時將蟻丘打開，天氣冷時則關閉。

在寒冷的冬天，由於林蟻針葉堆蟻丘與外界的絕緣，使得蟻丘內的溫度下降維持在 10°C 的範圍。而在春夏時，螞蟻們便會勤奮地為蟻丘補充熱能：螞蟻們會以日光浴來補充身上的熱能，接著再將熱能帶回蟻丘。也由於針葉堆蟻丘對於溫度調節的優越功能，能縮短林蟻的發育時間至 5-6 周。



圖 6：紅褐林蟻在初夏時做日光浴 (圖片來源：Wolfram Adelman, ANL)

接下來將以黑褐毛山蟻 (*Lasius niger*) 的地面蟻丘和紅褐林蟻 (*Formica rufa*) 的針葉堆蟻丘來做介紹及說明：

黑褐毛山蟻 (*Lasius niger*) 的簡介



圖 7 和圖 8：左圖-黑褐毛山蟻 (*Lasius niger*) 的蟻后及工蟻 (圖片連結/來源：<http://ameisenwiki.de>; Alfred Buschinger)；右圖-草地裡的蟻丘 (圖片來源：Peter Sturm, ANL)

分類：蟻科 (*Formicinae*)，背部呈弓形，胸腹部有柄節連結。

出現及分布：遍布歐洲各地，適應能力強，是德國最常見的蟻類。通常生活在森林及路邊較潮濕的地方。

蟻丘：通常高度可達 10 公分但不大穩固，建造在地面上植物的周圍，以植物的根莖作為支撐而不致倒塌。但在雨後，蟻丘入口便會倒塌而須立即翻修。這也就是為什麼在下雨過後，常能見到蟻群頻繁地在地面上活動。蟻丘的地點也經常會選在平坦的石頭下，或是陽台的地面。

蟻群居住區的範圍：每個蟻丘只會有一隻蟻后，14,000 隻工蟻，較大的蟻丘甚至會有 50,000 隻工蟻。平均來說，每個蟻丘每年可產出 1,000 隻的雄蜂以及 200 隻的蟻后。幼蟲在冬季不會發育，因此在冬季的時候，蟻丘裡只能見到蟻后及工蟻。

行為模式：蟻類只有在蟻丘被侵犯時才会有攻擊性，夏季則通常在夜間外出覓食。

營養來源：所有的蟻類都屬於雜食性，通常會獵捕體型更小的昆蟲，取用蚜蟲體內的花蜜，也喜好帶甜度的水果。一般來說，蚜蟲與蟻蟻的幼蟲會在蟻丘內或附近與蟻類共生。蚜蟲和蟻蟻可分泌出含蜜的物質，蟻類會為牠們趕走天敵及撫育幼蟲，不時將它們搬移到食物充足的區域，然後收集它們的分泌物作為食物。

體型大小：蟻后長約 8-9 公釐，工蟻長約 3-5 公釐，雄蟻約為 4-4.5 公釐

發育週期：蟻類的生命週期分為四階段，卵、幼蟲、蛹及成蟻。蟻卵呈橢圓形，柔軟且其中帶有深色的斑點；下一階段孵化出的則是無眼無腿的幼蟲，只具有新陳代謝的功能，其營養攝取仰賴成蟻的供給。幼蟲的成長非常快速，經由數次的蛻皮體型變大；當幼蟲長到夠大時，便進入蛹的階段，在此時進行結構的變化發育。蟻類的蛹外圍會有繭包覆作為保護，而家蟻亞科的蛹則是裸露無覆蓋的。初期的蛹呈白

色，而隨著時間顏色逐漸加深。剛孵化的螞蟻也呈淺色，隨著逐漸成長顏色變深。

發育時間：工蟻從卵到幼蟲約 10 到 15 天，從幼蟲到蛹約 10 到 15 天，從蛹到孵化 10 到 25 天，總共是 1 到 1.5（有時到 2）個月。

年輕蟻后與雄蟻的交尾(交配)時間：通常在七到八月的下午，在這之前蟻后会先將蟻丘的入口擴大，而實際的交尾時間會落在悶熱的午後，通常是大雨過後，因為此時地面的土壤軟化，以利蟻后在地面挖洞。

冬休期：每年十月至隔年三月

繁殖：成蟻在盛夏的白天(午後)在飛行中進行交尾，在交尾過後雄蟻立刻死亡，蟻后的翅膀脫落，接著進入挖好的地洞開始準備建立新的群體。緊接著便是在洞裡產卵，而這些卵通常在一年之內會孵化發育成工蟻。

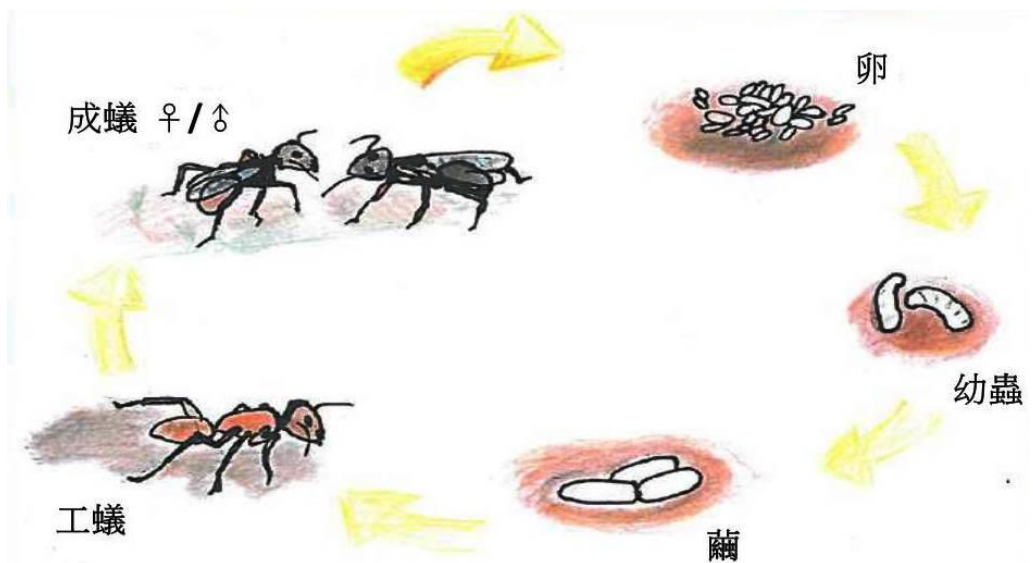


圖 9：黑褐毛山蟻 (*Lasius niger*) 的發育週期 (圖片來源：Kristel Kerler, ANL)

紅褐林蟻 (*Formica rufa*) 的簡介



圖 10 和圖 11：左圖-紅褐林蟻 (*Formica rufa*) 的工蟻 (圖片來源：Roland Günter)；右圖-森林裡的針葉堆蟻丘 (圖片來源：Wolfram Adelman, ANL)

分類：蟻科 (*Formicinae*)；林蟻亞屬 (*Formica* s. str.)。

出現及分布：遍布歐亞大陸，歐洲部分包括了從伊比利半島到貝加爾湖的區域，亞洲部分則是從小亞細亞到高加索山脈的區域。通常棲息於日照充足的針葉林邊緣，因為針葉為重要的蟻丘建造材料。

蟻丘：針葉堆蟻丘，常見有數個蟻丘結合的大區域，其中可能有一個或是多個蟻丘，範圍之大可達三公尺。蟻丘內結構複雜，負責哺育後代的工蟻會將幼卵及幼蟲在蟻丘出入口或內部的居室之間搬移，以順應天氣的變化及幼卵和幼蟲發育所需，也能避免過於潮濕而發霉的情況發生。

體型大小：蟻后約為 9-11 公釐長，工蟻約為 4.5-8 公釐，雄蟻則是 9-11 公釐。

交尾季節：五月到六月。

行為模式：高度攻擊性，可以強壯的口器咬傷敵人，並能往傷口處噴出蟻酸。當蟻丘受到侵擾時，能噴射蟻酸至 10-20 公分遠的距離來防禦，甚至能使得來犯的天敵傷到眼睛。

營養來源：主要為昆蟲、其他昆蟲的幼蟲、毛蟲以及蜘蛛網上捕獲的昆蟲屍體為食，但就算是體型大得多的動物屍體，如死老鼠，紅褐林蟻也能將其拖回蟻丘分食；其他如蚜蟲體內的含蜜物質，樹汁及果實也是牠們的食物。另外，紅褐林蟻對於植物的繁殖也有貢獻，因為牠們會將植物的種子帶回蟻丘，食用種子周圍含油脂的物質後再把種子帶出蟻丘丟棄。

繁殖：蟻后三月時在蟻丘內產卵，經由工蟻的照護哺育，之後會發育並孵化出長有翅膀的雌蟻。在幼卵出生的第一天，根據其體內的賀爾蒙便會決定之後成為工蟻或是蟻后。在孵化後不久，便進行「婚飛」(交尾飛行)，開啟新的世代。在交尾之時，雌蟻便由雄蟻身上接收到牠此生所需的所有精子並儲存於體內的儲精囊，而後年輕蟻后可能選擇回到原來的蟻丘，或是藉由工蟻的幫助建造新的蟻丘，蟻后產下的卵分為受精卵及未受精的卵，受精卵會發育成工蟻，未受精卵則發育成雄蟻。

大部分種類的蟻卵最大都只有 1 公釐左右，蟻卵是由專職看顧蟻卵的工蟻以舔舐的方式進行照護，以避免蟻卵乾燥脫水。在接下來的幼蟲階段，也由專職看顧幼蟲的工蟻來照護，起初為蠕蟲狀呈透明色的幼蟲，會進行四次的蛻皮。在此階段，工蟻會以富含蛋白質的糊狀食物來餵養幼蟲。在第四次蛻皮後幼蟲進入蛹的階段，某些種類的蟻蛹會長出如繭一般的外殼，如毛山蟻 (*Lasius*)、林蟻 (*Formica*)、弓背蟻 (*Camponotus*)，某些種類的蟻蛹則無，赤裸地暴露在外，如家蟻 (*Myrmica*)。

所有的原生種螞蟻都是雜食性，而蚜蟲和蟻蟋類的小昆蟲對於螞蟻的食物來源扮演重要的角色，螞蟻會如「擠奶」一般用觸角去擠壓蚜蟲和蟻蟋，使其分泌出體內含蜜的物質以供螞蟻食用。

對於螞蟻的幼蟲，富含蛋白質的小昆蟲則是重要的營養來源，其中主要來自於節肢昆蟲類；一個林蟻 (*Formica* s. str.) 的蟻丘區通常在一天內可以捕獲數百萬隻的昆蟲。

螞蟻會將獲取的養份儲存在腺囊裡，在以口對口的方式分給同伴；在螞蟻之間口對口分食 (Trophallaxis) 的過程中，可觀察到非常頻繁的觸角接觸。螞蟻用兩種方式來傳遞液態的養分：一種是工蟻會將含蜜或花粉的分泌物餵食給幼蟲；另一種則是工蟻之間的養份傳遞，一隻工蟻會奮力地將養分從腺囊中吐出讓另一隻工蟻喝下。

1.4 生態學上的意義

螞蟻嚴謹的社會結構以及蟻丘建築需要很多的精力以及充足的食物(營養)來源，也因此螞蟻對於周圍環境中的動植物都有很大的影響。甚至是在人口密集的大都市，都可見到每間房子都有螞蟻居住的痕跡。

在螞蟻種類較多的地區，可發現有著 200 到 300 個蟻丘，占地達 100 平方公尺的區域。在所有生存於地面的昆蟲當中，螞蟻的生物量是最大的，平均來說，經常可見大約每公頃 30 到 40 公斤之多的螞蟻生物量。以黃土蟻 (*Lasius flavus*) 為例，甚至可以達到每公頃 60 到 150 公斤的生物量。

除了蚯蚓之外，螞蟻算是第二重要的地面物質傳送者。由於生存方式的需要，螞蟻會將物質不停地往蟻丘搬進搬出，也因為如此能傳送混和地面的物質與增進周圍地面環境的通風，之於土壤生物學有重大的意義。以黃土蟻為例，為了建造蟻丘堆每年會搬運約 1-2 噸，甚至高達 7 噸的地面物質。

對於植物來說，螞蟻搬運種子到各處也對植物的繁殖有很大的貢獻。以林蟻為例，牠們會搬運傳遞的植物種子高達 154 種之多。

而螞蟻對於蚜蟲及蟻蟻的「擠奶」行為，不只是有助於螞蟻自身的食物營養攝取，同時也造福了其他的動物。在螞蟻、蚜蟲和蟻蟻的生活環境當中，至少還存在著 250 種以上的其他昆蟲與動物，受益於此行為的昆蟲及動物包含了鳥類、以昆蟲為食的哺乳動物、爬蟲類、兩棲動物、蜘蛛等掠食性昆蟲。鳥類中如蟻鴛及多種的啄木鳥都習於接近螞蟻，而螞蟻的儲存食物的習性正好為這些鳥類在過冬時備好了糧食。許多其他種類的鳥類，也都因此與螞蟻相當靠近，也正因為如此，螞蟻種類數量繁盛的森林，也會有豐富多樣的鳥類。



圖 12：正在為蚜蟲「擠奶」的黑褐毛山蟻 (*Lasius niger*，圖片來源：Roland Günter)

在昆蟲當中，螞蟻的數量最多，這對於節肢昆蟲類數量的調節有很大的作用。在某些研究中發現，螞蟻的存在有助於清除森林內的動物及昆蟲腐屍，更能幫助減少害蟲的數量。

螞蟻的蟻丘同時也提供了其他動物遮蔽及生活的空間，如蜘蛛、蜈蚣、蝴蝶、甲蟲和蒼蠅等。在蟻丘的附近，可能同時存在 3,000 種以上如此仰賴螞蟻而生存的動物。如瀕臨絕種的眼灰蝶 (*Polyommatus*) 或白灰蝶 (*Phengaris*)，便是在蟻丘內度過重要的發展階段，沒有蟻丘的存在灰蝶也無法生存。

1.5 從螞蟻成功的繁衍來學習

螞蟻為何能如此成功的生存及大量繁衍？

如同人類，螞蟻群體是有社會結構的。在大多數的人類社會當中具有由上而下的結構，也就是說，上層的領導會將規定及任務交付給下層階級，由下層階級來執行。但這樣的結構無法對於外在條件的轉變做出快速且及時的反應，這也許在一個平衡的環境中

適用，在高度動態不斷變化的環境卻可能失敗。相對來說，螞蟻社會的結構是由下往上的，使得螞蟻群體能對於外界的變化或在生存及工作過程遭受侵擾時做出立即的反應，如有吸引人的新的食物營養來源出現時，或是周遭環境發生變化時，螞蟻甚至能迅速地調適，找到更簡便的方式來達到目的(取得食物)。以這樣的由下往上結構為基礎，螞蟻在 1 億多年以來發展出了許多成功的生存策略，這些策略是經得起時間考驗的。對於螞蟻的生存方式的研究，也能在人類社會中運用。

螞蟻的群體智慧並不需要階級制度或是領袖，螞蟻群體能自己發展，其中的螞蟻個體都會自然地不斷進化自己的能力；螞蟻的群體智慧甚至能解決複雜的數學問題。也是因為如此，許多科學家致力於研究螞蟻的群體智慧，並加以應用於人工智慧及機器人等方面，「螞蟻演算法」(ant algorithms) 也因此而生。

英國的物理學家及群體行為研究專家 Len Fisher 在他的書「群體智慧」(The Perfect Swarm) 中，以音樂會中的歡呼及鼓掌效應生動地說明了螞蟻的群體現象。當音樂會中的一個觀眾開始鼓掌，便會帶動其他的人開始鼓掌，直到所有的觀眾都一同鼓掌歡呼。Fisher 指出，單一個體的影響並不是線性的發展，而能夠影響到整個群體，最終所有的觀眾甚至能以相同的節奏來鼓掌歡呼。研究學者藉此看出了群體的基本特性：當群體中的個體遭遇問題或任務時，整個群體能共同來解決或達成，但並不見得需要中央或領導的操控。

在後續的主題活動中，我們能從螞蟻群體簡單但成功的生存原則中發現到很多吸引人之處。螞蟻的覓食方式便是一個很好的例子：牠們總是會選擇距離食物來源最近的路徑。一開始偵查蟻會在蟻丘附近偵查，並藉由體內的費洛蒙在地面留下氣味線索，標記出路線。第一個找到最近路線的偵查蟻首先返回蟻丘，再次以費洛蒙氣味來加強路線的標記，其他的螞蟻便能依循這標記好的路線到達食物來源。這樣的覓食策略簡單又成功，卻不需要複雜的溝通技巧。

2. 如何小心且正確地與螞蟻接觸

在課程活動進行之前，教師應與學生共同討論，對於接觸體型如此小的螞蟻，什麼樣的方式才是人道且正確的。

除了正在建造針葉堆蟻丘的林蟻之外，為課程需要皆可運用不同種類的螞蟻。

小心探訪林蟻的蟻丘！

在蟻丘附近是很容易踩踏到林蟻的，通常在蟻丘的各面都可見星形的林蟻隊伍，教師在帶領學生探訪林蟻時，應特別注意腳下繁忙的林蟻隊伍。在探訪蟻丘之前一定要先穿著塗上油性物質(如石蠟、凡士林或其他油性物質)的橡膠長靴(雨靴)，這是因為在一靠近林蟻的同時，林蟻便會沿著兩條腿往上爬，且可能咬傷任何暴露在外的皮膚。

不可對螞蟻進行任何致死的實驗！

以教學的觀點，不應該對螞蟻進行任何毀滅性的實驗。可能有學生想抓出兩隻不同蟻丘的螞蟻來戰鬥，但這可能引出兩個蟻丘所有的螞蟻，當螞蟻被激怒且引出蟻丘後，

建造針葉堆蟻丘的**林蟻**及鋸針蟻在德國是受到邦聯物種保護法所保護的種類，依法不能捕捉、傷害或殺害這兩種林蟻，這適用於各種階段的林蟻(包含卵、蛹及幼蟲)。法律上也同樣嚴格禁止對於林蟻蟻丘堆的侵擾，因此在觀察林蟻蟻丘及林蟻隊伍時要特別注意。

非常可能會強力包圍該學生，並對其猛烈攻擊以致死為目的。家蟻亞科甚至會使用毒刺，用以防衛並致敵人於死地。弓背蟻屬擁有強壯的口器，在戰鬥與體型較小的其他蟻種戰鬥時，能在數秒之內將對手的頭咬下。

在進行實驗時，應避免任何可能傷害螞蟻或使螞蟻致死的舉動。這些道德上的觀點應在活動執行前與學生詳加討論，向學生提出問題與說明，有哪些實驗或行為對於螞蟻是危險的。

其他相關資訊

相關書籍：

Hölldobler, B. & Wilson, E. O. (1990) :
螞蟻 – Springer Verlag, Berlin, Heidelberg

課程素材：

Schule in Baden-Württemberg – Landesbildungsserver Baden-Württemberg :
在校園中觀察螞蟻的行為； www.schule-bw.de/unterricht/faecher/biologie/material/wirbellose/insekt/ameisen/haltung.html

Freistaat Sachsen - Sachsenforst :
林蟻簡介手冊； www.smul.sachsen.de/sbs/download/Ameisenheft_fuer_Kinder.pdf

3. 主題活動

活動主要目的

- 引起學生對於螞蟻的高度發展的社會結構的興趣
- 介紹螞蟻的體型、生命週期以及社會結構
- 從螞蟻學習－認識大規模螞蟻社會的群體組織、行為模式及溝通方法，並與人類群體社會的相似處做比較

主題活動

校園內

A 1 校園內的螞蟻－觀察與行為

校園外

A 2 研究螞蟻的餵食順序

A 3 觀察蟻丘

A 4 紅褐林蟻的防衛本能

A 5 a) 螞蟻的群體智慧－觀察螞蟻隊伍為何從無停滯或阻塞 b) (與人類社會比較) 火警發生時造成的交通阻塞

A 6 氣味路徑－螞蟻的溝通交流方式

附錄

A 1 準備建造螞蟻農場 (附材料說明)

A 2 圖鑑講義哪裡能找到螞蟻？

A 3 指導說明：如何捕捉螞蟻？

A 4 指導說明：如何餵養螞蟻？

A 5_1 活動任務講義：相關知識介紹 螞蟻的體型及發展週期

A 5_2 活動任務講義：學習成果檢驗 螞蟻的體型及發展週期

A 6_1 解答講義「當....的時候，會發生什麼？」

A 6_2 活動任務講義「當....的時候，會發生什麼？」

主題活動 1

校園內的螞蟻－觀察與行為 (校園內進行)

a) 建造螞蟻農場

(見附錄 A1-A4)

除了螞蟻農場的本體，建議設置另外的圓形區域以利螞蟻在蟻丘外活動並易於觀察，可用其他較大的容器如飼育箱直接連接於螞蟻農場。農場與活動區域之間以透明的管子連結作為通道，以樹脂黏著。如此的設置也有利於進行餵食相關的實驗，並觀察食物的運送。

b) 進行螞蟻行為的觀察

藉由每天維護整理螞蟻農場，可觀察記錄螞蟻對後代的哺育、幼蟲的發展階段以及蟻丘的擴大。為了讓螞蟻建造蟻丘，需供給必須的材料，如針葉、樹葉以及稻草和麥稈。食物供給則包含了花蜜、昆蟲、毛蟲及昆蟲的幼蟲。食物供給的頻率則需觀察消耗的速度來決定，為了能提供足夠的食物及營養，須確保食物的來源。(見附錄 4「如何餵養螞蟻？」)

應記錄所有的觀察，並繪製活動相關的示意圖。

建議的觀察項目：

- 螞蟻挖洞的長廊的每日變化 (數量和長度)
- 特殊功能區域的劃分
- 蟻丘建造材料的堆積
- 螞蟻偏好的蟻丘材料
- 最早孵化的幼蟲
- 幼蟲到蛹需要的時間長度
- 蛹及成蟻的數量變化
- 每日依時間不同，氣溫與照明變化等不同條件下的螞蟻活動
- 螞蟻偏好的食物來源

季節：9-10 月、3-8 月

級別：小學、國中、高中

執行：中等

活動目的

- 學習與其他生物接觸(相處)，並培養對於事物的責任感
- 學習正確的觀察方法
- 認識學習螞蟻的身體構造、器官，發育階段蟻及成蟻的型態
- 認識並了解昆蟲的變態過程
- 認識並了解昆蟲群體如何運作

材料準備

- 建造螞蟻農場的材料 (見附錄 A1)
 - 兩個不同大小能相互覆蓋的玻璃罐 (容器)，包含蓋子。
 - 模型膠
 - 土壤及沙子
 - 濾網及碗
 - 鐵鎚和釘子(建議以布料和橡皮筋包覆鐵槌)
 - 黑色的色紙
 - 膠帶
- 螞蟻 (見附錄 A2 及 A3)
- 餵養螞蟻的食物 (見附錄 A4)
- 其他所有可使用的附錄資料

螞蟻農場應放置於明亮的位置，但不能被陽光直射。

請注意，太陽照射的角度及位置每天都會變化，而被陽光直射的玻璃罐在數分鐘內就會快速升溫，即便是習性耐熱的螞蟻都可能因此而死亡。

c) 認識螞蟻 – 熟悉螞蟻的身體構造，以及不同的發育階段

(見附錄 A5_1 及 A5_2)

活動執行

本活動由建造螞蟻農場時開始，教師可充分利用此機會，說明螞蟻各個發育階段。可用鑷子小心地取出不同發育階段的卵、幼蟲、蛹及剛孵化的成蟻，並放置在培養皿中展示並說明。

對照附錄 A5_1 活動任務講義「螞蟻的體型及發展週期」，學生可用放大鏡來觀察研究不同階段的螞蟻。藉此學生能完全的學習並了解昆蟲的變態過程。

在此活動中以及活動講義的內容，也能認識工蟻及成蟻 (在夏季月份可見到蟻后及雄蟻) 的身體構造，並與其他種類的昆蟲群體作比較。教師應詳細說明身體構造中各部位的作用及意義。

藉此教師也能說明由受精卵或未受精卵發育成的成蟻型態，包括牠們在螞蟻社會中的等級區別及行為差異，進而能了解不同成員的功能以及對於螞蟻社會的意義。

在課程的最後學生將填寫附錄 A5_2 的講義作為教學目標評量，其中內容包含了螞蟻的身體構造 (器官) 以及發育階段，以及辨認出螞蟻社會中不同型態或功能的螞蟻成員的名稱。

主題活動 2

研究螞蟻的餵食順序

(在校內或校外進行皆可)

活動執行

本活動建議在校外或是校內建造的螞蟻農場進行皆可 (見活動附錄 A1)，若是在校外，應事先找到適合學生進行觀察的蟻丘地點。通常在陽台的地面或是花園草皮都可見到這些蟻丘：黑褐毛山蟻 (*Lasius s. str.*)、黑山蟻 (*Serviformica fusca*) 以及紅褐家蟻 (*Myrmica*)。這幾種螞蟻通常會出沒在校園附近的灌木林周圍，並能觀察到牠們對蚜蟲收集取用花蜜的過程，在取用後返回蟻丘的螞蟻，腹部通常是脹大的情況。

若要觀察螞蟻的覓食，通常選擇族群較大的螞蟻種類，其螞蟻隊伍到處明顯可見。紅褐林蟻 (*Formica s. str.*) 常出沒在針葉林邊緣，黑草蟻 (*Lasius fuliginosus*) 則較常出沒在森林中的樹叢裡。

接著應觀察並找到螞蟻隊伍，在螞蟻隊伍附近以及蟻丘周圍，保持適當的間隔以附蓋培養皿放置不同的食物，讓學生 2 人或 3 人一組觀察一個培養皿，並記錄螞蟻花費多少時間來找到該培養皿中的食物。

然後繼續觀察並記錄，找到了培養皿中食物的螞蟻，如何地將食物運走並且花了多少時間運回蟻丘。

建議可進行一項小實驗：混合一些蜂蜜水，將之放置在石頭的凹陷處或是較淺的小碗或碟子中。(不可使用邊緣傾斜度過高的碗或碟子，容易使螞蟻滑落而跌入蜂蜜水中)

若能再多花一些時間，可將藍色的食用色素加入蜂蜜水，這能讓人更容易辨認出攝取了蜂蜜水的螞蟻。當螞蟻找到蜂蜜水的時候便會立刻吸食，腹部會立刻脹大且閃閃發光(黃色或藍色)；如果幸運的話甚至可以觀察到，螞蟻如何相互餵食。

季節：9-10 月、4-8 月

級別：小學、國中、高中

執行：容易

活動目的

- 覓食、運輸和觀察路徑
- 認識到飼料來源、飼料偏好和不同發展階段之間的相關性

材料準備

- 培養皿
- 不同類型的食物：糖溶液、蜂蜜溶液（如果可以用一些藍色食用色素）、肉、奶酪、植物種子、蚯蚓、其他昆蟲和小型脊椎動物
- 附錄 A 4（子項目 3）
- 碼表

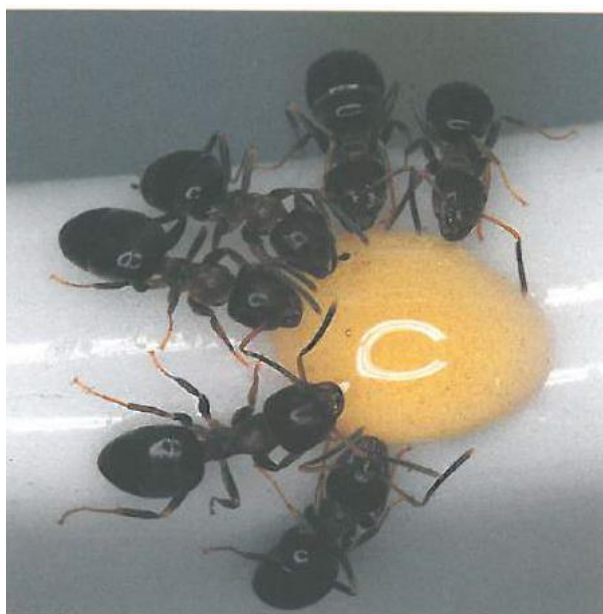


圖 13：吸食花蜜的毛山蟻 (圖片來源：Wolfram Adelman, ANL)

特別注意每個培養皿(不同食物)必須以相同的間隔以及相同的量放置在蟻丘周圍，最後所有小組的記錄集合在一起於課堂中做討論。

專業背景知識

一個螞蟻社群之所以能成功的生存及運作，完全仰賴群體內仔細的分工，特別是針對食物方面的分配，為此螞蟻建立了一套精細的食物傳遞與交換程序。當蟻丘內無法外出覓食的螞蟻需要食物時，便會向其他的螞蟻乞求，而這樣的乞求也傳達了一種訊息：蟻丘內的食物已經不夠了，於是可以外出的工蟻便會立刻出外覓食。食物的乞求行為很容易觀察得到，需要食物的工蟻會用觸角碰觸提供食物者的頭部，並用前腿觸摸對方的口器及周圍。提供食物者的嘴唇受到刺激，便會從腺囊吐出食物，再由嘴唇向前伸出傳遞讓需要食物的工蟻喝下。但這樣的交換方式也只有小量的食物，畢竟腺囊內能儲存的容量有限。

主題活動 3

觀察蟻丘

活動執行

首先要找到並確認適合觀察的蟻丘地點，周圍環境必須適合讓學生追蹤螞蟻的路線及活動，並有明確且固定的螞蟻隊伍可供觀察。

觀察的執行須以「隊伍卡」的教具輔助，在卡片上需記錄各個螞蟻隊伍之於蟻丘的相對位置及方向性，也要標明周邊環境的特徵，如路徑、樹木或灌木林等等。指示學生找到一隻她(或他)能辨認出種類的螞蟻，追蹤該螞蟻 10 分鐘並記錄這 10 分鐘內螞蟻的一切活動。隨後學生們能集合在一起，交換各自的紀錄內容，包含了螞蟻的路線以及帶回蟻丘的食物。由這些紀錄可以發現並比較，不同種類的螞蟻有不同的行進方式與路線安排，其帶回蟻丘的食物種類與數量也有所不同。

接下來選擇一條明顯的螞蟻隊伍，用一條較粗的繩子橫越過該隊伍，繩子的兩端繫在小樹枝上，並將小樹枝插在地上。藉此可觀察螞蟻的反應，也能記錄螞蟻的數量。

最後整理所有的記錄，與學生們在課堂上共同討論並總結，將所有記錄到的螞蟻活動列表，並針對不同的活動加以討論並下註解。

季節：9-10 月、5-8 月

級別：小學、國中、高中

執行：容易

活動目的

- 認識並了解螞蟻傳遞及負載物品的方式與運輸範圍
- 總結工蟻之於螞蟻社群的社會意義

材料準備

- 紙和鉛筆，用以標記螞蟻隊伍與蟻丘的方向性及相對位置
- 用來記錄螞蟻活動的紙本
- 碼表
- 繩子

建議與主題活動 6 附錄 A 6_2 的活動任務講義「當...的時候，會發生什麼？」相結合來進行螞蟻活動的觀察。

主題活動 4

紅褐林蟻的防衛本能

活動執行

首先要找到紅褐林蟻 (*Formica rufa* s. str.) 的蟻丘聚落，其中最好包含多個小型的蟻丘而非只有一個大型蟻丘，較適合讓學生以小組方式進行觀察活動。蟻丘聚落的地點最好位於森林或山區的健行小徑，可向森林管理員諮詢適合的地點。

活動建議可在五六月時進行，因為這個時節有許多的蝴蝶幼蟲(毛毛蟲)及蚜蟲出沒。最晚不能超過九月，因為九月之後螞蟻的活動情況會大幅減少。最好能選在溫暖日照多的日子進行觀察，因為此時森林裡的生物較為活躍；**多雨或低溫的天氣則不適合**。紅褐林蟻的蟻丘通常能在針葉林的附近發現，尤其是日照較為充足的森林邊緣。在接近紅褐林蟻蟻丘時要特別注意，**不要踩踏到在地上繁忙行進的林蟻隊伍**。

在沒有穿著橡膠長靴(雨靴)的情況下千萬不能接近紅褐林蟻，應在長靴的上部表面塗上蠟油或凡士林的物質，避免林蟻向上爬以及咬傷。在沒有穿著橡膠長靴的情況下，林蟻會立刻沿著兩條腿向上爬，且會咬傷接觸到的皮膚表面。

實驗 1

用一株當季生長的植物(藍色的花)在蟻丘上方擺動，很快地便會有林蟻攀爬而上活動。切勿變換植物的顏色，那可能會降低林蟻的興趣。也可用植物(花)輕輕撫觸蟻丘的表面，來刺激林蟻的活動，於此也可使用以甜菜汁染色的水煮蛋或石蕊試紙來代替。此時可借助準備好的黑色色紙作為背景，能更有利於觀察。建議使用相機來捕捉觀察到的現象，此一活動也可於化學課時進行。

實驗結果

工蟻會將腹部傾斜向前，往假想的攻擊者噴射數滴的蟻酸，若以黑色色紙作為背景，便能以肉眼直接觀察到噴射出的蟻酸。無論是使用植物(花)、染色的水煮蛋或是石蕊試紙，沾染到蟻酸的部分都會出現斑點。

季節：9-10 月、5-8 月

級別：小學、國中、高中

執行：容易

活動目的

- 了解螞蟻的防衛機制

材料準備

- 附錄 A 2 圖鑑講義「哪裡能找到螞蟻？」
- 有著藍色花瓣的植物
- 染色的水煮蛋
- 石蕊試紙
- 黑色色紙



圖 14：就防守位置的紅褐林蟻 (*Formica rufa*)，明顯可見的白色斑點便是蟻酸留下的痕跡。(圖片來源：Wolfram Adelman, ANL)

以香水浸濕並放置於蟻丘上的紙巾也能誘發林蟻的反應：當察覺到香味來源及位置變化時，林蟻也會往香味的方向噴射出蟻酸。在適合的情況下也能讓學生(一個學生)直接用手在蟻丘上方揮動，但被蟻酸噴射到的地方會留下難聞的氣味。

實驗 2

- 應小心進行實驗，避免傷害到螞蟻！
- 絕對不能大動作侵擾蟻丘，如打開蟻丘的出入口！這類的舉動會激怒整個蟻丘的林蟻，讓林蟻誤認有大型的攻擊者(如啄木鳥或野豬)入侵而發動猛烈攻擊。

使用小樹枝在蟻丘的表面輕輕撫動，立即會有工蟻往樹枝的方向阻擋。接著工蟻們會迅速地圍住樹枝，有可能會排擠到原本就在蟻丘上活動的其他林蟻，此時應該已經有數隻工蟻咬住樹枝，便可將樹枝輕輕放置在蟻丘上。

學生能藉此機會觀察，林蟻(工蟻)如何被誘發且擴散到其他工蟻。

實驗結果

被誘發的林蟻會更快速的行進(奔跑)且變得攻擊性極高。對於面前任何會動的物體，林蟻都會發動攻擊。刺激蟻丘的動作只能選在蟻丘的小部分進行，避免激怒整個蟻丘的林蟻而造成無法控制的局面。

實驗 3

給學生的觀察任務－紅褐林蟻的行進隊伍

先請學生找到一條較窄但明顯的林蟻隊伍，在距離約兩公尺處進行觀察，避免踩踏到林蟻。

- 林蟻的行進速度(與氣溫有密切關係：溫暖的天氣行進速度較快，若氣溫低於 15°C 行進速度會慢得多)
- 當氣味線索中斷時會發生什麼事？可以用樹枝在林蟻隊伍的中間挖洞(不要太深)，觀察林蟻是否停下不動或是騷動地繞過。牠們很可能會呈現被打擾且不知該往哪個方向走的情況，但終究會有一隻林蟻跨過小洞，找到新的氣味線索使得隊伍繼續行進。
- 紅褐林蟻的行進隊伍如何傳送物品？當觀察到林蟻隊伍傳送物品已經超過五分鐘時，可用鑷子小心地架起收集正在被傳送的物品，接著便以放大鏡檢視，並繪圖記錄。

餵食實驗

- 將以水浸濕的方糖放置在林蟻行進隊伍周圍三毫米的位置。
- 在林蟻行進隊伍旁邊放置裝有蜂蜜水的燒杯，並觀察吸食蜂蜜水的林蟻。幸運的話，

建議將本活動與主題活動 5「螞蟻的群體智慧－觀察螞蟻隊伍為何從無停滯或阻塞」一同進行。

可觀察到返回吸食完返回蟻丘的林蟻，再受到其他林蟻乞求後餵食的情況。

主題活動 5

a) (螞蟻的) 群體智慧 / 為何螞蟻行進隊伍都不會堵塞停滯？

活動執行

如果有足夠的時間，此活動能和主題活動 4「林蟻的防衛本能」結合執行。

林蟻 (*Formica* s. str.) 的行進隊伍是很理想的觀察對象，林蟻的針葉堆蟻丘通常能在針葉林附近以及森林周邊日照充足的區域找到。在蟻丘的周遭通常都有很多的林蟻行進隊伍，最好能與蟻丘保持兩公尺左右的距離進行觀察。

黑草蟻 (*Lasius fuliginosus*) 的行進隊伍也相當密集，牠們的蟻丘通常建造於腐朽的樹幹上。以蟻丘為起點常能見到黑草蟻行進隊伍，可能密布在樹幹表面或是橫跨森林小徑。建議選擇晴朗溫暖的日子進行觀察，因此時螞蟻的活動較為頻繁。

觀察任務：螞蟻的行進隊伍為何都不會有堵塞或停滯的狀況？讓學生以小組方式進行螞蟻隊伍的觀察，並報告他們觀察的結果。

專業資訊：如螞蟻一般的避免堵塞

在假期的開始，人們總是為了前往度假地點而在高速公路上塞車。反觀螞蟻的行進隊伍，完美流動的行進且分為多道隊伍，即便同時存在反向的蟻流也不會有什麼意外事件(碰撞)或是遲疑停滯的現象。為何螞蟻能做到，人類卻不行？

因為在螞蟻的世界，存在著牠們的交通規則，牠們並不以個體的利益出發，反而是為群體著想：行進隊伍中的每一隻螞蟻都會致力於保持最佳的速度，以期為群體帶來最佳的利益。紅褐林蟻的行進隊伍每分鐘吞吐量可達 100 隻螞蟻。某個法國的研究團隊甚至發現，數量愈多愈密集的螞蟻行進隊伍，其行進效率愈高，這是經常在高速公路上塞車的人類難以想像的。螞蟻在此方面所佔的優勢，是因為牠們並不是各自孤立在汽車裡行駛，牠們在路上行進之時能夠相互接觸或是以化學性的訊號來做溝通。藉由費洛蒙，螞蟻不只能標記出前往食物來源的最佳路線，還能標示出食物的大小並通知同伴。這樣的溝通不只適用於同方向的隊伍同伴，反方向行進的螞蟻也能接收得到。

一位日本的研究學者進行了一項試驗，是關於較窄的路段對於行進速度的影響。試驗如下：22 位駕駛繞著 230 公尺的環型跑道行駛，根據試驗的設定，每位駕駛須保持同樣的速度行駛，但在過了一段時間後，有些人的行駛速度會變快，有些人會變慢，接著便會出現煞車的情況，然後便發生堵塞並蔓延到所有的車輛(整條動線停滯)。在這個例子中顯示，若每位駕駛能持續地保持同樣速度行進，便能避免堵塞。其中有一個迷思，行駛速度愈快似乎愈能避免堵塞。每當公路上發生堵塞時，經過堵塞路段的駕駛其實都很驚訝，因為該路段並無事故。事實上，在高速公路上以 60-80 公里的時速行駛，便能維持最大(最佳)的吞吐量。

季節：9-10 月、5-8 月

級別：國中、高中

執行：容易

活動目的

- 學習了解群體智慧
- 反思自己的行為與思維，特別在交通方面

材料準備

- 附錄 A 2 圖鑑講義「哪裡能找到螞蟻？」

比利時與法國的研究學者也發現，無論行進隊伍中的螞蟻數量多寡，都不會發生堵塞的現象。為了研究螞蟻的習性，科學家為兩組螞蟻隊伍設置了兩種試驗路線，其中一條路線設有寬廣的橋梁連接蟻丘及食物來源，另一條路線則只有狹窄的小徑(寬度只限兩隻螞蟻同時通過)，實驗結果證明，行經兩條路線的螞蟻隊伍都在相同的時間內將相同份量的食物帶回蟻丘。

行進於狹窄小徑的螞蟻隊伍展示了相當值得注意的行為模式：相反方向的螞蟻會群集等待對向的螞蟻從小徑全數通過再繼續前進，而整個行進過程中螞蟻之間完全沒有發生碰撞。

螞蟻會以費洛蒙標記蟻丘到食物來源的路線，也能吸引其他的同伴從同樣的路線覓食。根據英國皇家學會期刊的生物學研究報導，當受吸引而前來的同伴增加時，螞蟻會減少費洛蒙的分泌，使得該路線對其他螞蟻的吸引力下降，交通流量也減少而避免了堵塞的情況。這種減項的調節方式卻也能使得覓食效率提高。

觀察任務的結果

螞蟻行進的速度與氣溫有很高的關聯性(天氣冷=速度慢，天氣溫暖=速度快)，彼此之間總是保持著相當小但足夠的距離，即便有些許的行進速度變化也不會導致堵塞的情況發生。因為能有效地避免堵塞，而使螞蟻行進隊伍能保持最佳的吞吐量。

螞蟻避免交通堵塞的規則

- 不可超車！不可變換車道！(行進中一直保持相同的速度)
- 彼此之間保持足夠的間隔距離。

延伸討論：人類自詡為具有高等智慧的動物，但為何不能像螞蟻一樣避免交通堵塞？

簡單來說，人類在交通上面總是不理性而以自我為中心的。許多人會覺得，與前方車輛保持距離是浪費空間，而會盡可能地靠近，卻更可能造成緊急煞車的現象，而導致堵塞。然而造成堵塞的車輛，往往不自覺自己就是造成堵塞的原因之一。

開快車的人總是自豪於自己的開車技術，他們不斷的超車來展現自己優於他人。在此處便是個人意識與群體利益的對立。當開快車的人遇到慢車時，勢必會有緊急煞車的情況，也就會導致堵塞，並使得後面的車流也不得不煞車而打亂了整個交通情況。

開快車的人的想法

「如果所有的人都能維持時速 250 公里行駛，那就完全沒問題了。但若只有我開得這麼快，那就不得不一直要因為慢速車而剎車。」

對此想法的解析評價

這很明顯地是一種非常狹隘的思維，因為開快車的人總是認為只有自己才有權在高速公路上行駛。在工蟻的行進隊伍裡也會有速度較慢的工蟻。如人類馬路上的載貨卡車，但在人類社會中，馬路上的中速車輛總是會被快速車逼迫，而不得不變換到慢速車道。在螞蟻的世界則不同，牠們彼此始終遵守固定的安全間距，而能適時的調節交通流量。當回堵的情況發生時，交通事故發生的頻率也會提高。事實上，速度愈快的車輛，需要與其他車輛之間保持更大的安全間距。

b) 交通堵塞案例 – 火警逃生演練

在此活動中，教師會要求學生以最快的速度離開教室，但會設下不同情境條件來演練。

教師的角色：以碼表計測逃生的時間（在最後一位學生離開教室時停止計時），並在每回合演練後詢問學生並記錄：a) 有誰在逃生過程中被超車了？ b) 有誰被推擠或觸碰了？ c) 有誰在逃生過程後感覺不舒服？

特別注意事項：在教室進行此項演練可能在逃生過程中造成學生受傷，也可選擇在開放空間進行，以布條、衣物等來標示出口通道。

活動執行 – 五種不同的情境條件

情境 1：告知學生學校發生火災，所有人必須盡快離開教室，但在離開教室時絕對不能推擠碰撞他人而要安靜有序，彼此之間仍應保持友善和諧，不能爭先恐後。（如螞蟻行進隊伍般，保持相同的速度）

情境 2：如上情況，但隨機選出一名學生扮演爭先恐後者（並在右邊口袋放有鑰匙來區別及製造效果）。

情境 3：如上情況，隨機選出 3-4 名學生扮演走路速度較慢者，可能是因為腿受傷或其他殘障，但仍表現得爭先恐後。

情境 4：再次演練情境 3，但允許走路較慢的人（殘障者）先離開。

情境 5：放置障礙物使逃生路線複雜化（如椅子或書包），將情境 4 再次演練。

在所有的情境演練過之後，與學生討論哪個情境的逃生狀況最為艱難？哪個最有危險性？仔細討論在各個情境演練時發生了些什麼事。（或許某些學生因此會情緒激動）

結論：螞蟻的交通方式或許不會是最快的，但卻是最安全的。在火警逃生時，只有如螞蟻般的遵守規則（保持同樣速度、安全間距）才能安全的逃離危險。

季節：全年

級別：小學、國中

執行：容易

活動目的

- 學習群體智慧
- 反思自己的行為與思維

材料準備

- 碼表 / 計時器（如手機）
- 便條紙與鉛筆，或可用粉筆記錄在黑板上

- **相關科目：**生物學、德文、社會學、道德課、宗教學
- **必需能力：**好奇心
- **呈現形式：**若學生數目眾多，可分小組進行
- **時間：**20 分鐘

主題活動 6

氣味路徑 - 螞蟻如何溝通

活動執行 - 建造氣味迷宮

1. 取用 3-4 瓶香水並在教室裡噴灑出香味路徑 (或可選擇噴灑在紙張上)
2. 指示每個小組尋找一種香味。
3. 讓學生嘗試使用自己的嗅覺並體驗氣味路徑
4. 規定統一的時間 (15 分鐘)，在時間到之後與學生討論，先前是否能成功地用味道辨別出路徑。
5. 與學生討論，螞蟻如何運用氣味來溝通。

專業背景知識

如同現代社會裡手機之於人類的重要性，費洛蒙之於螞蟻的溝通也扮演了同樣重要的角色。螞蟻的費洛蒙是多種碳氫化合物的混合，從特殊的腺體分泌出；藉由費洛蒙，螞蟻能標記路線。當一隻螞蟻找到食物時，在牠返回蟻丘的路上便會以費洛蒙標記出一條氣味路徑。其他追隨的同伴會在路上再次的以費洛蒙加強該路線的氣味，而能吸引更多的螞蟻前往覓食。

但某些香味卻會驅趕螞蟻，如含有香料的揮發油或精油、薰衣草油或薰衣草本身、蕨類以及咖啡渣等等，這些味道反而會擾亂螞蟻的費洛蒙路徑以及溝通，且可能嚇跑螞蟻。

季節：全年

級別：小學、國中、高中

執行：容易

活動目的

- 體驗螞蟻的溝通方式

材料準備

- 2-3 瓶不同味道的香水。

- 相關科目：生物學、化學

- 必需能力：好奇心

- 呈現形式：若學生數目眾多，可分小組進行

- 時間：20 分鐘

附錄 A 1

建造螞蟻農場

準備玻璃容器

需有兩個不同大小(能裝在一起)的附蓋玻璃罐，將小的罐子置入大的罐子裡，底部以黏膠固定住。特別注意玻璃罐的大小，在玻璃罐之間需有足夠的空隙，作為螞蟻的活動空間。



圖 15：兩個不同大小的附蓋玻璃罐。
(圖片來源：Mihaela Antofie, ULBS)



圖 16：在小玻璃罐置入大玻璃罐後，上部及周圍需有足夠的空間。



圖 17：玻璃罐底部示意圖，小玻璃罐放置的位置需稍微偏離中心。

材料準備

- 兩個不同大小能裝在一起的玻璃罐及蓋子。(見圖 13 及圖 14)
- 模型膠
- 泥土及沙子
- 篩網及碗
- 鐵鎚和釘子 (或是以布料和橡皮筋代替)
- 黑色色紙 (較硬材質)
- 膠帶

準備土壤

盡量避免直接混和泥土和沙子，這樣的土壤對於建造螞蟻農場來說過於濃稠，增加螞蟻建造蟻丘的困難度。在選擇泥土時應以螞蟻的品種顏色做考量，使用的螞蟻若為深色，則選用淺色的泥土來增加對比度以利觀察。在罐子底部應鋪設粗糙的土層以利排水及通風，在此可使用盆花的陶土顆粒及石灰石顆粒。

接著將選用的泥土與沙子混和，再用篩網過濾在碗內，接著將混合且過篩的土壤填入兩個玻璃罐之間的空隙，直到接近頂部數公分的高度，如此的高度能讓螞蟻取用土壤來建造土丘，也便於餵食螞蟻。(見圖 19 及圖 20 及附錄 A3 及 A4)



圖 18：將土壤過篩，底部的碗(容器)應帶有方便傾倒的斜嘴，過篩後便可直接注入玻璃罐。



圖 19 及圖 20：將混合好的土壤倒進玻璃罐，至如右圖般的高度，保留與頂部的空間方便之後餵食螞蟻。



圖 21：將罐口以透氣的布料覆蓋並固定。

保持玻璃罐的通風及避免光線直射

用鐵鎚及釘子在玻璃罐的蓋子上打出幾個小洞，使得空氣能進入玻璃罐且流通。也可以改用布料覆蓋來代替蓋子，再以橡皮筋束在罐口固定。

最後，須注意在進行觀察的同時，要避免光線直射玻璃罐，才不會打擾到罐內的螞蟻生態。以罐子的寬度以及注入土壤的高度為準，將黑色色紙剪裁成合適大小的長方形，並把長方形包覆在玻璃罐外部，以膠帶固定。黑色色紙不需要黏死在玻璃罐上，要能隨時取下以利觀察。



圖 22 及圖 23：以黑色色紙包覆玻璃罐，避免光線直射。黑色色紙應能隨時取下以利觀察。

附錄 A 2

如何找到螞蟻？

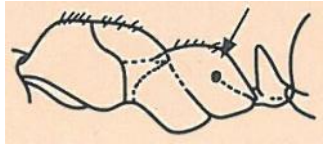
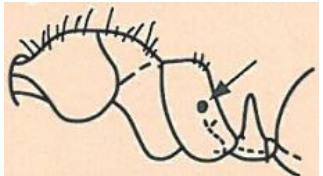
(在樹林及森林)

地點	特徵	圖示	種類名稱
樹叢或是腐朽的巨木附近	體型大：長約 8-9 公釐，黑色或黑褐色，常見單隻的螞蟻在路上行進。 背部曲度較小，此為與林蟻的區別。		弓背蟻屬 (<i>Camponotus</i>)
以(杉樹或松樹)針葉建造的堅固蟻丘。 通常出沒在日照充足的森林邊緣。	黑褐色，長約 6-7 公釐，常見成群的行進隊伍。 背部有兩個明顯的突起。		林蟻屬 (<i>Formica</i>) 受法律保護！ 不適合娛樂！
在腐朽的樹幹附近。 如黃蜂一般在朽木內建造箱型的蟻丘。	漆黑且像打過蠟一般發亮，長約 4-6 公釐。 常見成群的行進隊伍，數量多且密集而引人注目。		黑草蟻 (<i>Lasius fuliginosus</i>)

下一頁：在草原及花園

如何找到螞蟻？

(在草原及花園)

地點	特徵	圖示	種類名稱
以 土壤 和 雜草 建造蟻丘，常見於 草原 或 花園 的平坦石頭下或是地磚下。	黑褐色，長約 5-6 公釐 		黑山蟻 (<i>Serviformica</i>)
以 土壤 建造蟻丘，常見於 草原 或 花園 的平坦石頭下或是地磚下。	顯眼的 紅色 ，有 兩處明顯的柄節 連接腹部及胸部。 長約 4-5 公釐。 身體上部有特殊的構造。		紅褐家蟻 (<i>Myrmica</i>) 警告：可以用刺螫！
以 土壤 建造蟻丘，常見於 草原 或 花園 的平坦石頭下或是地磚下。 經常可在人類居住區發現。	黑褐色，長約 3-4 公釐  背部傾斜度相對於其他種類較大。		毛山蟻屬 (<i>Lasius sensu stricto</i>)
以 土壤 建造蟻丘，常見於 草原 或 花園 的平坦石頭下或是地磚下。 經常可在人類居住區發現。	均勻的 亮黃色 或 土黃色 。 只在地下活動。 長約 3-4 公釐。		黃土蟻 (<i>Chtonolasius</i>) (<i>Cautolasius</i>)

上一頁：在樹林及森林

附錄 A 3

如何捕捉螞蟻？

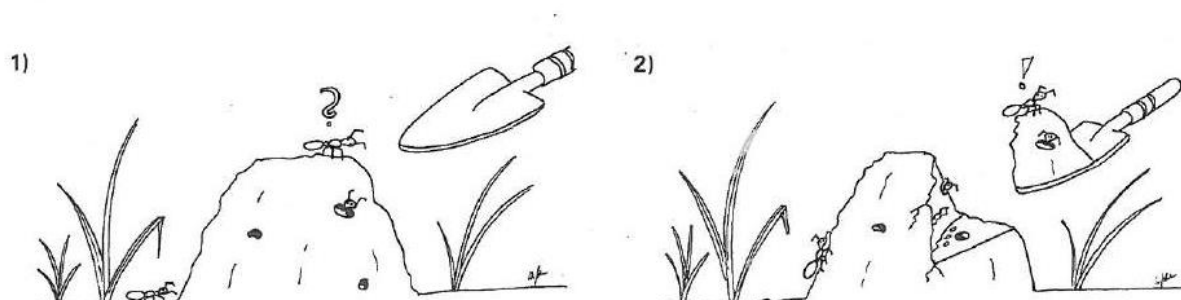


圖 24 及圖 25：示意圖-以小鏟子連同蟻丘的土壤來取樣螞蟻。(圖片來源：Wolfram Adelman, ANL)

取樣蟻丘(螞蟻)

在取樣(捕捉)螞蟻時，可準備覆蓋的容器來盛裝，在找到適合的蟻丘後，可利用小鏟子或是較大的湯匙挖出一小塊的蟻丘土壤，放進準備好的容器裡。若有在鏟子上亂爬的螞蟻，可將螞蟻輕輕地吹回蟻丘或是小心地弄掉。用來暫時盛裝螞蟻的容器可以是密封的，但不能讓螞蟻在密封的容器內超過一天。

要想捕捉到黑山蟻的蟻后，機率是很低的。季節轉換之時或許能找到卵及幼蟲，盛夏的月份甚至能在蟻丘外部找到蟻后的蛹。以土壤式的蟻丘來說，蟻丘的頂部與底部(石頭下)之間數公分的空間的溫差大約介於 20 - 35°C。正在發育的蛹需要較高的溫度而常位在蟻丘最溫暖處，容易腐壞的卵及脆弱的幼蟲則通常位在蟻丘內較陰涼的位置。因此，深入研究蟻丘不同的位置(分層)便能觀察到不同的發育階段。



圖 26：在 7-8 月間能在黑褐毛山蟻的蟻丘發現交尾飛行(婚飛)前帶翅的成蟻(雄蟻及蟻后)。圖中可見帶翅的蟻后、工蟻及白色的幼蟲。(圖片連結：<http://ameisenwiki.de>；圖片來源：Alfred Buschinger)

捕捉(單隻)螞蟻

可使用如下的方法來捕捉毛山蟻或家蟻：用多量的口水覆蓋食指(舔)，便能牢固地將螞蟻黏起。

附錄 A 4

如何照顧螞蟻?

1. 安置螞蟻

將螞蟻及帶有蟻丘土壤的卵放置於準備好的玻璃容器中，接著便將準備好的蓋子或布料覆蓋容器上(見附錄 A 1)，最後再以剪裁好的黑色色紙包覆於玻璃容器外層。

2. 濕度

螞蟻的生存環境並不需要太高的濕度，大部分由花園內捕捉到的螞蟻種類只需要微濕的地面。

容器的底層也不能是完全乾燥的狀態，但也不能過於潮濕。

可試用噴瓶或是滴管稍微地弄濕底層，但不能太濕；或是可以間隔 3-4 天稍微澆少許的水至容器底層。也可放置多汁

的水果在容器內，一方面保持底層的濕度，另一方面也能提供螞蟻水分的攝取。

如果容器夠大，也能在裡面放置小水池(水源)，當觀察到螞蟻主動補充水分時，表示容器內的環境濕度不夠。

3. 餵食

餵食的頻率應為每周 1-2 次，餵食的間隔大約是 2-3 天；在每次餵食前，應先清理容器內前次餵食後的食物殘渣，避免產生發霉的情況。

成蟻的重要養分來源是碳水化合物，而螞蟻特別喜歡甜而多汁的水果(如蘋果及葡萄)，也很喜歡蜂蜜及方糖，可加少許的水混和蜂蜜或方糖來餵食。碳水化合物必須以多汁的固體(如水果)或液體(如蜂蜜水)來餵食。蜂蜜水可以 60%的蜂蜜加上 40%的水均勻混和，且不能放置在容器內過久。品質好的蜂蜜也可以不加水直接餵食螞蟻。

相對來說，幼蟲重要的養分來源是蛋白質，可給予小塊的乳酪或是昆蟲屍體(蚊子、蒼蠅、蝗蟲等)。但對於如毛山蟻之類體型較小的螞蟻，很難咬食較硬的昆蟲屍體，建議先將昆蟲屍體分切成小塊再進行餵食。也可選用貓或狗的飼料，或是肉類及魚肉來代替昆蟲。

若是選用肉類或魚肉餵食，切忌將其烹煮或調味，這些方式可能會在餵食的時候也同時將蟻蟲帶入容器內而造成風險。

4. 放生螞蟻

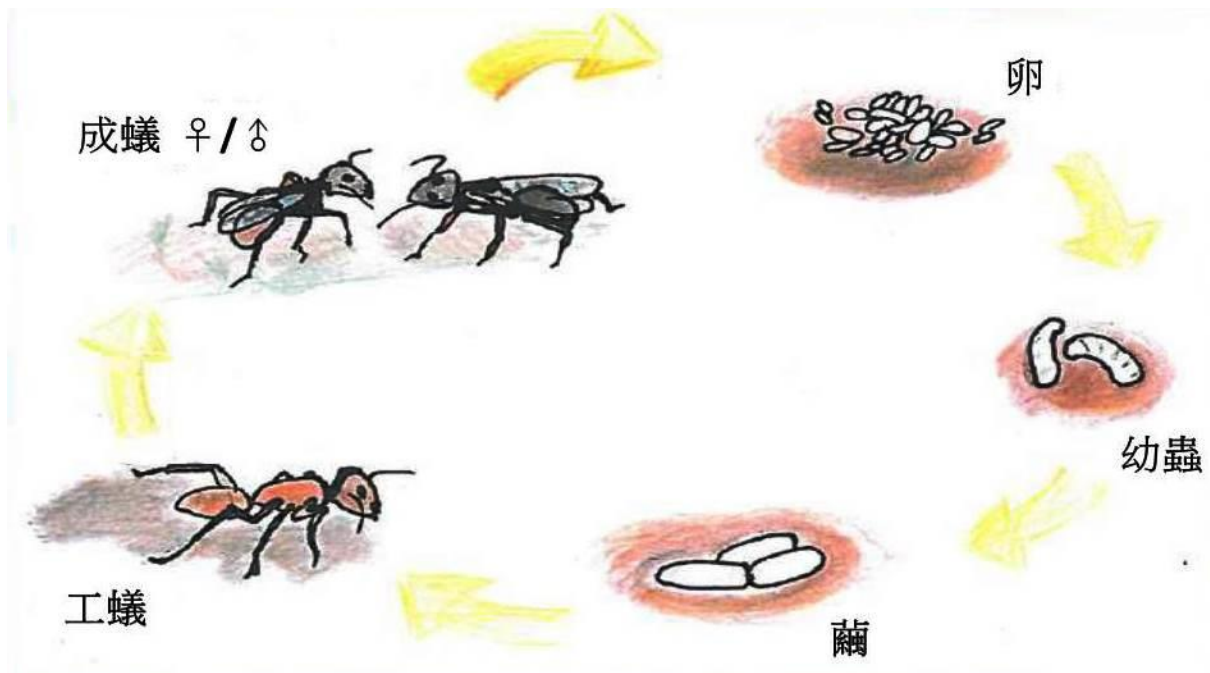
收集(捕捉)螞蟻的時機大約是從四月底開始，而放生的地點應回到當初捕捉的同樣地點，最晚應在十月份放生。



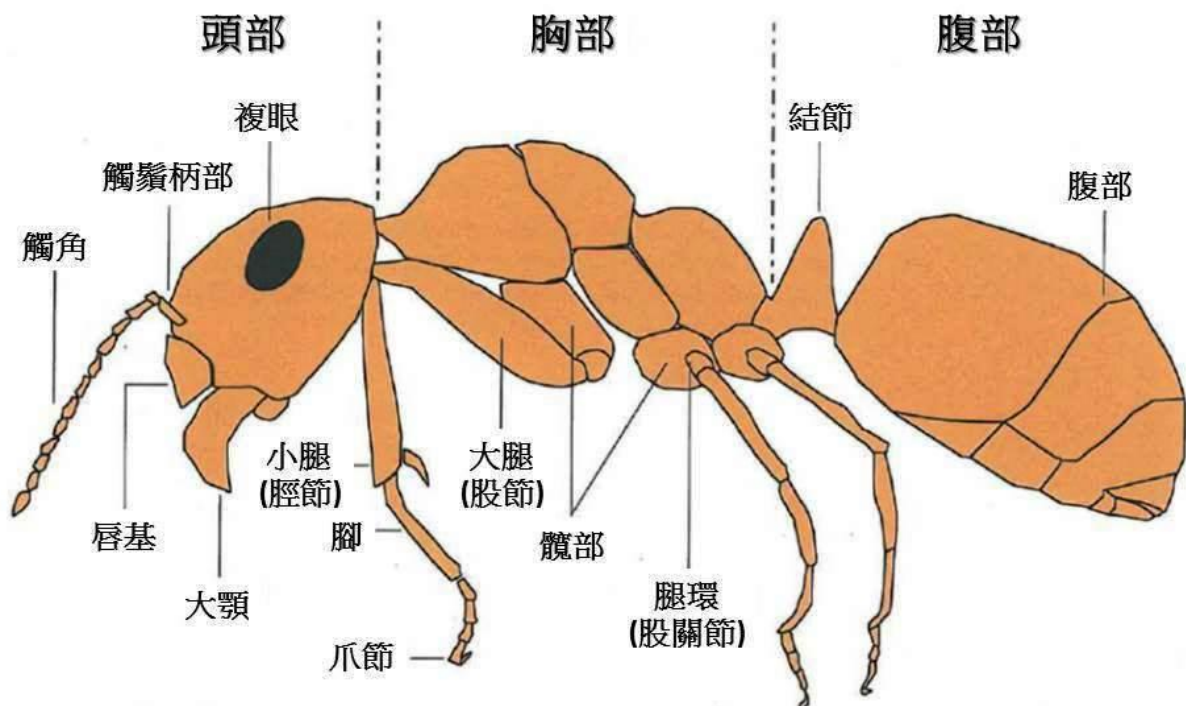
圖 27：從上方觀看裝有螞蟻的玻璃容器，特別注意容器的上部需保有足夠的空間以利餵食。(圖片來源：Mihaela Antofie, ULBS)

附錄 A 5_1

螞蟻的體型及發育週期



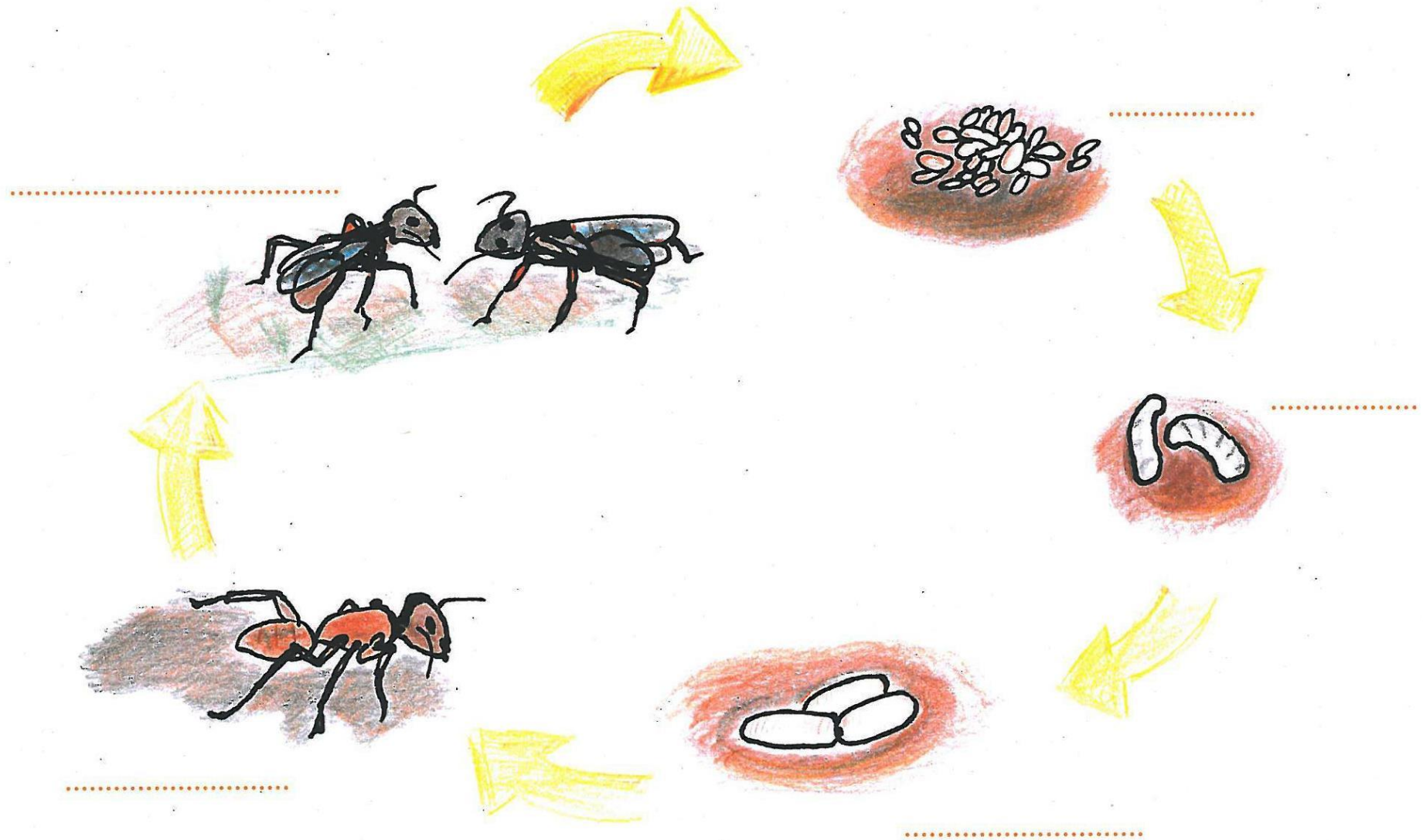
螞蟻的發育週期 (圖片來源：Kristel Kerler, ANL)



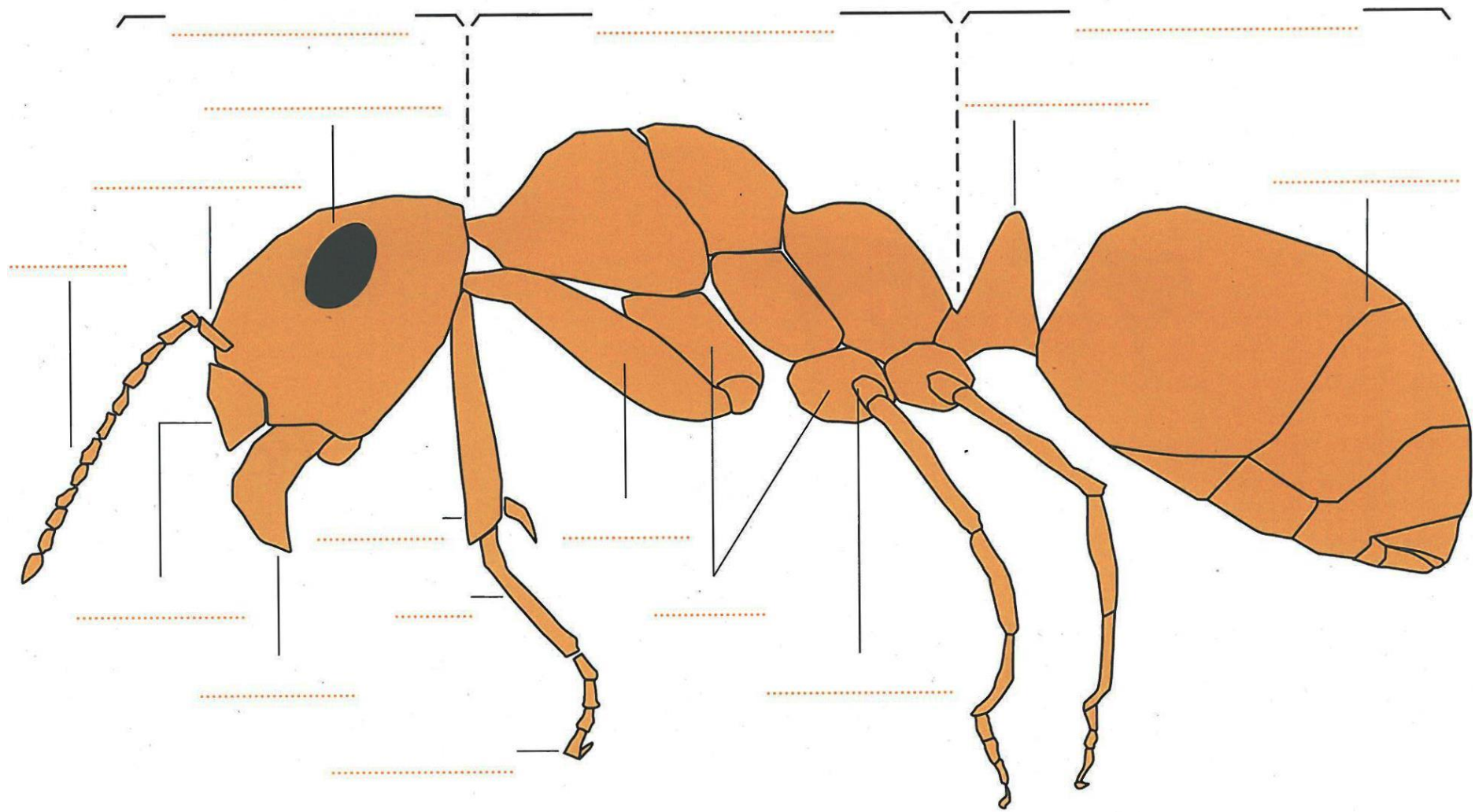
弓背螞蟻的身體構造。(圖片來源：Kristel Kerler, ANL)

附錄 A 5_2

螞蟻的體型及發展週期 (活動任務講義：學習成果檢驗)



螞蟻的發育週期 (圖片來源：Kristel Kerler, ANL) 請填空。



弓背蟻的身體構造。(圖片來源：Kristel Kerler, ANL) 請填空。

附錄 A 6_1

「當...的時候(情況或行為)，會發生什麼事？」(解答講義)

可供室內課程 (已備有螞蟻農場供觀察) 或是在戶外的觀察活動使用

嚴格禁止進行以下的實驗，因這些實驗對於螞蟻是不人道的，某些甚至會導致螞蟻死亡！

以下表列的內容僅供理論上的探討(而非實際的執行)，教師必須詳細講解，務必使學生理解且遵守，絕對要避免以下的實驗(行為)。

當...的時候(情況或行為)，會發生什麼事？	可能觀察到的現象	推測發生現象的原因
...將薰衣草油倒入蟻丘 絕對不能這樣做！	螞蟻會四處竄逃，甚至死亡。	如薰衣草油的高濃度芳香精油會導致螞蟻的生命危險。
...以發酵粉或酵母餵食螞蟻 絕對不能這樣做！	螞蟻會死亡。	發酵粉或酵母進入螞蟻體內後，會使螞蟻的身體不斷膨脹，直到螞蟻死亡為止。
...將蟻后從原本的蟻丘取出，放入在其他的蟻丘 絕對不能這樣做！	蟻后很可能會被其他蟻丘內的螞蟻殺死。	因為對於其他蟻丘內的螞蟻來說，這個蟻后的氣味很陌生，不屬於這個蟻丘。
...被螞蟻咬傷或刺傷 盡量避免！	螞蟻的咬傷或刺傷通常無害，但紅火蟻的咬傷除外，會造成劇痛。	螞蟻咬人或刺傷人屬於防衛行為，教師絕對不能展示這樣的情況。
...將不同種類的螞蟻混和 絕對不能這樣做！	螞蟻會互相攻擊廝殺，至死亡為止。	出於對蟻丘的防衛反應，陌生的螞蟻會被當作入侵者而受到攻擊。

可進行以下的實驗：

以下的觀察實驗較不常見，但可能帶來意外的收穫。教師可與學生一同進行並討論觀察到的現象。

當...的時候(情況或行為)，會發生什麼事？	可能觀察到的現象	推測發生現象的原因
在室內將螞蟻放置在紙上，螞蟻的周圍用油性筆畫一個大圓，或是在室外的地上，用樹枝畫圓	螞蟻會有一段時間一直繞著圓圈走。	因為氣味路徑被破壞了。
在螞蟻隊伍 附近 的地上滴下一小滴薰衣草油	螞蟻會盡量避開含有薰衣草油的區域。	薰衣草油對螞蟻來說是劇毒。
在晴朗的日子於蟻丘上放置一盆花	螞蟻會將幼蟲從蟻丘帶到花盆，時間可能持續 3-4 小時，甚至一整天。	螞蟻幼蟲需要較乾燥的環境，如自然形成的洞穴，或是樹幹的凹陷處。
用紫葉甘藍或菊苣的菜葉，或是石蕊試紙在林蟻的蟻丘上來回撫動，然後放置在蟻丘上	蟻丘上的螞蟻會立刻抓住菜葉或石蕊試紙並緊緊咬住，接著噴射蟻酸，菜葉或試紙上會立刻浮現紅色斑點。	噴射蟻酸是林蟻的防衛動作；紫葉甘藍與菊苣內的抗氧化劑使菜葉呈藍色，而抗氧化劑與酸作用呈紅色，與鹼作用則呈藍色。石蕊試紙也是同樣的道理。

將大約 10 隻從花園或草地上取出的螞蟻放進水裡 (千萬不能只放單獨一隻)	螞蟻們會緊緊抓住彼此，形成如竹筏般，而漂浮在水上不下沉。	螞蟻們運用了水的表面張力。 ^{1, 2, 3}
對著螞蟻高聲呼喊	螞蟻會移動	螞蟻能「聽到」震動。
對著蟻丘開口處向內呼氣	螞蟻會從蟻丘內跑出並尋找攻擊者(呼氣的人)	呼氣時散發的二氧化碳對螞蟻來說是一種警訊，表示可能有天敵入侵，必須盡快驅離入侵者。
觸摸螞蟻	螞蟻的移動速度變快，試圖跑走或是發動攻擊。	觸摸的舉動對螞蟻來說是天敵的攻擊，若是在蟻丘的區域，螞蟻會發動攻擊，若在其他區域則會逃跑。在照顧螞蟻時，可在餵食時讓螞蟻熟悉照顧者的氣味。
對螞蟻隊伍噴灑少許香水	螞蟻會四處亂竄。	螞蟻用氣味來標示路徑以及溝通，彼此之間以相同蟻丘的氣味來辨認，香水強烈的味道會嚴重打亂螞蟻的方向性及辨認能力。
在肉塊(碎)上灑上針葉並固定於地面	螞蟻會快速地往肉塊聚集。	螞蟻會用費洛蒙標記前往食物來源的路線並吸引其他工蟻前往。
將方糖置於中心，以粉筆在方糖周圍畫出迷宮 ⁴	通常螞蟻會照著迷宮的路線走而不會跨越粉筆畫出的線，但在少數情況也有螞蟻會跨越粉筆線。 ⁵	食物散發的氣味會壓過原本熟悉的路線。
在螞蟻面前輪流放置醋、黑胡椒、水、肉桂、薄荷、番茄	螞蟻對不同食物會有不同的反應。	螞蟻會避開醋、黑胡椒、肉桂及薄荷，人類可以用這些物質來驅趕屋內的螞蟻。水及番茄則對螞蟻沒有作用。
將一張紙放在螞蟻隊伍面前，等到螞蟻發現並在紙張上移動前進後，再將紙張翻轉	螞蟻會在紙張背面繼續移動，因為同一面的紙張上留有螞蟻費洛蒙標記的氣味線索。	這個實驗清楚地證明螞蟻確實以氣味來標記路線，而其他的螞蟻也能藉此跟從。

1 <http://www.unicafe.hu/lapozo/tutajja-alakulva-vedik-egymast-es-kiralynojuket-az-arviztol-a-hangyak/>

2 https://www.youtube.com/watch?v=2bdry7_5qck#t=48

3 <https://www.youtube.com/watch?v=uZSqx0PJ8XU>

4 <http://www.examiner.com/article/ant-science-fun-ways-to-use-ants-for-nature-studies>

5 <http://www.examiner.com/article/ant-science-fun-ways-to-use-ants-for-nature-studies>

附錄 A6_1

活動任務講義「當....的時候，會發生什麼？」

可供室內課程(已備有螞蟻農場供觀察)或是在戶外的觀察活動使用

當....的時候(情況或行為)，會發生什麼事?	可能觀察到的現象	推測發生現象的原因
在室內將螞蟻放置在紙上，螞蟻的周圍用油性筆畫一個大圓，或是在室外的地上，用樹枝畫圓		
在螞蟻隊伍 附近 的地上滴下一小滴薰衣草油		
在晴朗的日子於蟻丘上放置一盆花		
用紫葉甘藍或菊苣的菜葉，或是石蕊試紙在林蟻的蟻丘上來回撫動，然後放置在蟻丘上		
將大約 10 隻從花園或草地上取出的螞蟻放進水裡 (千萬不能只放單獨一隻)		
對著螞蟻高聲呼喊		
對著蟻丘開口處向內呼氣		
觸摸螞蟻		
對螞蟻隊伍噴灑少許香水		
在肉塊(碎)上灑上針葉並固定於地面		
將方糖置於中心，以粉筆在方糖周圍畫出迷宮 ¹		
在螞蟻面前輪流放置醋、黑胡椒、水、肉桂、薄荷、番茄		
將一張紙放在螞蟻隊伍面前，等到螞蟻發現並在紙張上移動前進後，再將紙張翻轉		

1 <http://www.examiner.com/article/ant-science-fun-ways-to-use-ants-for-nature-studies>